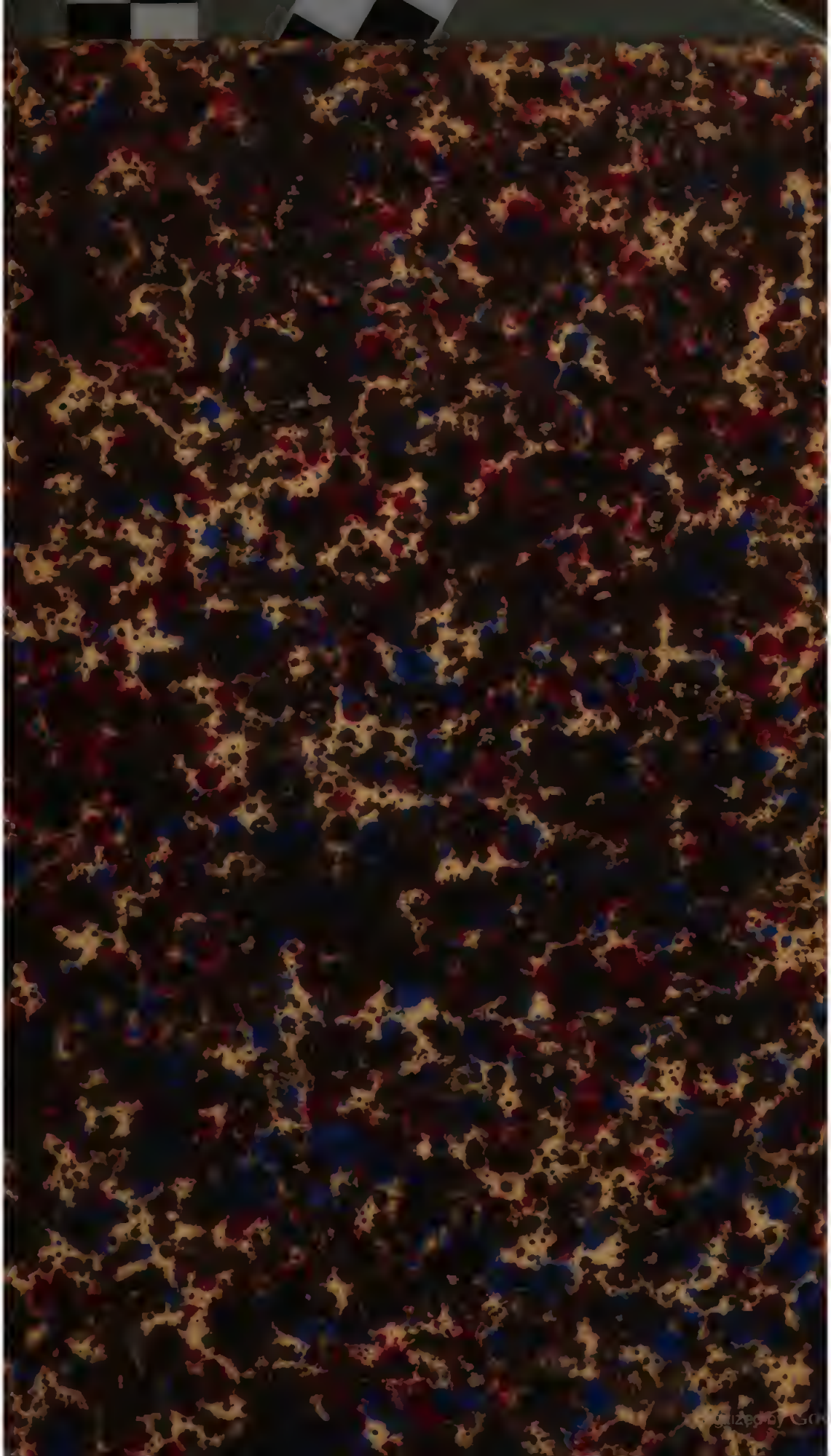
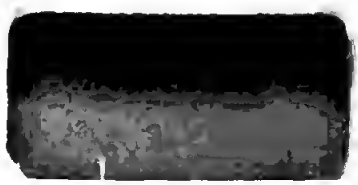


15. L. 2. 324.



Lehrbuch
der
kosmischen Physik.

Von
Dr. Joh. Müller,
Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Zugleich als dritter Band
zu
sämmtlichen Auflagen
von
Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik.

Mit 302 in den Text eingedruckten Holzschnitten und einem Atlas von 33 Stahlstich-Tafeln, zum Theil in Farbendruck.

Zweite wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1861.

Ankündigung.

Die kosmischen Erscheinungen, bei welchen die Kräfte der Natur in großartigem Maßstabe zur Wirkung kommen und bei welchen mitten im beständigen Wechsel das Walten ewiger Gesetze so deutlich ausgesprochen ist, sind in neuerer Zeit von namhaften Gelehrten in klassischer Weise behandelt worden, und mit besonderer Vorliebe hat sich das gebildete Publikum gerade diesem Zweige der naturwissenschaftlichen Literatur zugewendet, welcher in der That eine bedeutende Rolle unter den Factoren unserer modernen Bildung spielt.

Unter diesen Umständen dürfte wohl ein Werk zweckmäßig sein, in welchem die physikalischen Erscheinungen des Himmelsgewölbes und der Erdoberfläche in Form eines Lehrbuchs systematisch zusammengestellt und in allgemein verständlicher Weise behandelt sind, indem ein solches Lehrbuch dem Leser die Orientirung in dem Kreise der fraglichen Erscheinungen wesentlich erleichtert, ihn für die Lectüre anderer Schriften über diesen Gegenstand vorbereitet und das Verständniß derselben vermittelt.

Dies ist das Ziel, welches mir bei Ausarbeitung des obigen Werkes vorschwebte, welches nun in zweiter Auflage erscheint. Es zerfällt, den Haupttheilen der Experimentalphysik entsprechend, in vier Bücher. Eine Aufzählung der einzelnen Capitel, in welche diese vier Bücher zerfallen, wird am meisten geeignet sein, um einen Ueberblick über das Material zu geben, welches in diesem Lehrbuche behandelt wird.

Erstes Buch. Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung. — Gestalt, Größe und Axendrehung der Erde. — Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben. — Die Planeten. — Die Satelliten. — Die Kometen. — Die allgemeine Schwere. — Ortsveränderungen der Fixsterne.

Zweites Buch. Kosmische und atmosphärische Lichterscheinungen.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume. — Erscheinungen, welche durch Brechung und Spiegelung des Lichtes in der Atmosphäre bewirkt werden.

Drittes Buch. Die calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre.

Verbreitung der Wärme auf der Erde. — Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen. — Die Hydrometeore.

Viertes Buch. Die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche.

Atmosphärische Elektricität. — Der Erdmagnetismus.

So weit es ohne Oberflächlichkeit möglich ist, war ich bemüht, die genannten Materien anschaulich und allgemein verständlich darzustellen; aus diesem Grunde habe ich auch bildliche Darstellungen in reichlichem Maaße zu Hülfe genommen, weil gerade sie den Unterricht in allen Zweigen der Naturwissenschaften so sehr erleichtern. Die meisten Figuren sind in den Text eingedruckte Holzschnitte, welche den ausgezeichnetsten Leistungen der Xylographie in diesem Fach beigezählt werden können. Ein Atlas von 33 Blättern in Stahlstich, welcher dem Werke beigegeben ist, enthält solche Darstellungen, die sich des Gegenstandes oder der Größe wegen nicht für Holzschnitte eigneten, wie Sternkarten, astronomische Tafeln, eine Mondkarte, eine Darstellung des Zodiakallichtes und des Donati'schen Kometen, Erdkarten mit Isothermen und magnetischen Curven; eine landschaftliche Darstellung des Nordlichts, eines Mondhofes und der Luftspiegelung u. s. w.

Obgleich das hier angekündigte Lehrbuch der kosmischen Physik ein ganz selbstständiges Werk ist, so schließt es sich doch in so mannigfacher Beziehung an mein größeres Lehrbuch der Physik an, daß es auch als ein dritter Band jenes Werkes bezeichnet werden kann, und zwar um so mehr, als in beiden für den gleichen Standpunkt des Lesers berechneten Werken die gleiche Darstellungsweise befolgt wurde und sie auch äußerlich in gleicher Weise ausgestattet sind.

Freiburg, November 1860.

Dr. Joh. Müller.

Der Preis des vorstehend angekündigten Werkes mit dem Atlas ist 4 Thaler. Da wo mehre zum Ankaufe von Exemplaren zusammentreten ist jede Sortimentsbuchhandlung in den Stand gesetzt, auf 6 auf einmal bezogene Exemplare ein Frei-Exemplar zu gewähren.

Braunschweig, November 1860.

Friedrich Vieweg und Sohn.

Braunschweig. **PROSPECTUS.** November 1860.

Lehrbuch der kosmischen Physik.

Von

Dr. Joh. Müller,
Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Zweite wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage.

Zugleich als dritter Band
zu
sämmtlichen Auflagen
von
Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik.

Mit 302 in den Text eingedruckten Holzschnitten und einem Atlas, enthaltend 33 Stahlstich-Tafeln, zum Theil in Farbendruck.

gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 4 Thlr.

Braunschweig, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

Die kosmischen Erscheinungen, bei welchen die Kräfte der Natur in großartigem Maaßstabe zur Wirkung kommen und bei welchen mitten im beständigen Wechsel das Walten ewiger Gesetze so deutlich ausgesprochen ist, sind in neuerer Zeit von namhaften Gelehrten in klassischer Weise behandelt worden, und mit besonderer Vorliebe hat sich das gebildete Publikum gerade diesem Zweige der naturwissenschaftlichen Literatur zugewendet, welcher in der That eine bedeutende Rolle unter den Factoren unserer modernen Bildung spielt.

Unter diesen Umständen dürfte wohl ein Werk zweckmäßig sein, in welchem die physikalischen Erscheinungen des Himmelsgewölbes und der Erdoberfläche in Form eines Lehrbuchs systematisch zusammengestellt und in allgemein verständlicher Weise behandelt sind, indem ein solches Lehrbuch dem Leser die Orientirung in dem Kreise der fraglichen Erscheinungen wesentlich erleichtert, ihn für die Lectüre anderer Schriften über diesen Gegenstand vorbereitet und das Verständniß derselben vermittelt.

Dies ist das Ziel, welches mir bei Ausarbeitung des obigen, nun in zweiter Auflage erscheinenden Werkes vorschwebte. Es zerfällt, den Haupttheilen der Experimentalphysik entsprechend, in vier Bücher. Eine Aufzählung der einzelnen Capitel, in welche diese vier Bücher zerfallen, wird am besten geeignet sein, um einen Ueberblick über das Material zu geben, welches in diesem Lehrbuche behandelt wird.

Erstes Buch.

Bewegungserſcheinungen der Himmelskörper und ihre mechaniſche Erklärung.

Cap. I. Der Fixſternhimmel und ſeine tägliche Bewegung. Cap. II. Geſtalt, Größe und Axendrehung der Erde. Cap. III. Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derſelben. Cap. IV. Die Planeten. Cap. V. Die Satelliten. Cap. VI. Die Kometen. Cap. VII. Die allgemeine Schwere. Cap. VIII. Ortsveränderungen der Fixſterne.

Zweites Buch.

Kosmiſche und atmoſphäriſche Lichterſcheinungen.

Cap. I. Das Licht der Himmelskörper und ſeine Verbreitung im Weltraume. Cap. II. Erſcheinungen, welche durch Brechung und Spiegelung des Lichtes in der Atmoſphäre bewirkt werden.

Drittes Buch.

Die caloriſchen Erſcheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmoſphäre.

Cap. I. Verbreitung der Wärme auf der Erde. Cap. II. Das Luftmeer, ſein Druck und ſeine Strömungen. Cap. III. Die Hydrometeore.

Viertes Buch.

Die elektriſchen und magnetiſchen Erſcheinungen auf der Erdoberfläche.

Cap. I. Atmoſphäriſche Elektricität. Cap. II. Der Erdmagnetismus.

So weit es ohne Oberflächlichkeit möglich iſt, war ich bemüht die genannten Materien anſchaulich und allgemein verſtändlich darzuſtellen; aus dieſem Grunde habe ich auch bildliche Darſtellungen in reichlichem Maaße zu Hülfe genommen, weil gerade ſie den Unterricht in allen Zweigen der Naturwiſſenſchaften ſo ſehr erleichtern. Die meiſten Figuren ſind in den Text eingedruckte Holzſchnitte, welche den ausgezeichnetſten Leiſtungen der Xylographie in dieſem Fach beigezählt werden können. Ein Atlas von 33 Blättern in Stahlſtich, zum Theil in mehrfarbigem Druck, welcher dem Werke beigegeben iſt, enthält ſolche Darſtellungen, die ſich des Gegenſtandes oder der Größe wegen nicht für Holzſchnitte eigneten, wie Sternkarten, aſtronomiſche Tafeln, eine Mondkarte, eine landſchaftliche Darſtellung des Donati'ſchen Kometen und des Zodiakallichtes; Erdkarten mit Iſothermen und magnetiſchen Curven; eine landſchaftliche Darſtellung des Nordlichts, eines Mondhofes und der Luftſpiegelung u. ſ. w.

Obgleich das hier angekündigte Lehrbuch der kosmiſchen Phyſik ein ganz ſelbſtſtändiges Werk iſt, ſo ſchließt es ſich doch in ſo mannigfacher Beziehung an mein größeres Lehrbuch der Phyſik an, daß es auch als ein dritter Band jenes Werkes bezeichnet werden kann, und zwar um ſo mehr, als in beiden für den gleichen Standpunkt des Leſers berechneten Werken die gleiche Darſtellungsweiſe befolgt wurde, und ſie auch äußerlich in gleicher Weiſe ausgeſtattet ſind.

Freiburg, November 1860.

Dr. **Joh. Müller.**

Der Preis des vorſtehend angekündigten Werkes mit dem Atlas iſt 4 Thlr. Da wo Mehre zum Ankaufe von Exemplaren zuſammentreten iſt jede Sortimentsbuchhandlung in den Stand geſetzt, auf 6 auf einmal bezogene Exemplare ein Frei-Exemplar zu gewähren.

Braunſchweig, November 1860.

Friedrich Vieweg und Sohn.

Holzschnitte
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Müller-Pouillet's

Lehrbuch der Physik

und

Meteorologie.

Dritter Band.

Kosmische Physik

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1861.

Lehrbuch

der

kosmischen Physik.

Von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Zweite wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 302 in den Text eingedruckten Holzschnitten und einem Atlas von 33 Stahlstich-Tafeln, zum Theil in Farbendruck.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1861.

Die Herausgabe einer Ueberſetzung in engliſcher, franzöſiſcher und anderen modernen Sprachen wird vorbehalten.

Vorrede zur ersten Auflage.

Wie überhaupt die Naturwissenschaften zu den wichtigsten Factoren der geistigen Entwickelung des Menschengeschlechtes gehören, so ist namentlich das Studium der kosmischen Erscheinungen geeignet, allgemeine Bildung zu fördern, geistige Belebung und Veredlung zu vermitteln. Es ist desbalb erfreulich, daß nicht allein der Sinn für einen edleren geistigen Naturgenuß sich mehr und mehr verbreitet, sondern daß auch, trotz so mancher Anfeindungen und Verdächtigungen, welche in neuester Zeit gegen die Naturwissenschaften und gegen den naturwissenschaftlichen Unterricht laut wurden, das Streben, sich von den Gesetzen zu unterrichten, welche die ganze Schöpfung beherrschen, mehr und mehr aus dem engeren Kreise der Fachgelehrten heraustritt, daß man, und zwar mit Recht, von den Gebildeten aller Stände eine Bekanntschaft mit den bedeutendsten Resultaten der Naturforschung sowohl als auch mit dem Geiste derselben verlangt.

In Deutschland ist es vorzugsweise Alexander v. Humboldt, welcher durch seine geistreichen Schriften die allgemeine Aufmerksamkeit auf die kosmischen Erscheinungen gelenkt und den Sinn für deren Studium geweckt und belebt hat; sein »Kosmos« namentlich hat einen ganz neuen Schwung in diesen Zweig unserer Literatur gebracht. — So mannigfaltig aber auch der Gegenstand jenes classischen Werkes behandelt worden ist, so fehlt es doch noch an einem Werke, in welchem die Physik des Himmels und der Erdkugel in Form eines Lehrbuchs systematisch zusammengestellt ist, an einem Werke, welches außer der Astronomie, für welche es freilich nicht an trefflichen, mehr oder weniger populär gehaltenen Lehrbüchern fehlt, in gleicher Weise auch noch physikalische Geographie und Meteorologie umfaßt.

Diese Lücke auszufüllen ist der Zweck des vorliegenden »Lehrbuchs der kosmischen Physik«, welches ich insofern als ein populäres Werk bezeichnen muß, als dasselbe nur elementare Vorkenntnisse voraussetzt, und als alle in demselben vorkommenden mathematischen Entwicke-

lungen nicht über das Bereich der Elementar-Mathematik hinausgehen. Der Standpunkt des Lesers, welcher in demselben vorausgesetzt wird, ist derselbe, welchen ich bei Abfassung meines größeren Lehrbuchs der Physik im Auge hatte, und ich habe hier wie dort im Wesentlichen dieselbe Entwickelungsmethode, dieselbe Darstellungsweise befolgt.

Um den Umfang dieses Buches nicht unnöthig auszudehnen, habe ich die wenigen zum Verständnisse nothwendigen mathematischen und physikalischen Vorkenntnisse nicht in dem Werke selbst entwickelt, wie dies bei den meisten Lehrbüchern der Astronomie gebräuchlich ist, sondern auf die entsprechenden Stellen mathematischer und physikalischer Lehrbücher verwiesen*). Solche Vorkenntnisse bringen wohl die meisten Leser schon aus einem guten Schulunterrichte mit; für den Fall aber, daß denselben das Eine oder das Andere entfallen, daß ihnen die mathematischen Sätze und physikalischen Thatsachen, von welchen gerade Gebrauch gemacht werden soll, nicht mehr in ihrem Zusammenhange gegenwärtig sein sollten, ist es doch wohl besser, sich aus selbstständigen Lehrbüchern der fraglichen Hülfswissenschaften Raths zu erholen, als sich mit nothdürftigen Schaltcapiteln zu behelfen, die ihren Zweck doch nur höchst unvollständig erfüllen.

Wenn das Studium der Disciplinen, welche in dem vorliegenden Werke vorgetragen werden, auch allgemein geistbildend wirken soll, so genügt es nicht, den strebsamen Leser mit den Resultaten der wissenschaftlichen Forschung bekannt zu machen, ihm die Gesetze darzulegen, welche durch den Fleiß und den Scharfsinn der Astronomen und Naturforscher nachgewiesen worden sind; man muß ihm auch den Zusammenhang zwischen der unmittelbaren Anschauung und den Gesetzen zeigen, welche aus den Beobachtungen abgeleitet worden sind; der Leser muß eine Einsicht in die Art und Weise erlangen, wie die Gesetze entwickelt werden, damit er einen Maßstab habe für die Würdigung derselben, damit er das fest begründete Gesetz unterscheiden lerne von der schwankenden Hypothese, das Nothwendige von dem Willkürlichen, die Thatsache von der Vorstellung; selbst auch populäre Schriften (im besseren Sinne des Wortes) müssen den Leser in den Geist der wahren naturwissenschaftlichen inductiven Methode einführen. Es war mein eifrigstes Streben, bei Abfassung der vorliegenden »kosmischen Physik« diese Aufgabe nach Kräften zu lösen.

---

*) Die Citate beziehen sich, wo nicht andere Werke namentlich angegeben sind, auf die fünfte Auflage meines »Lehrbuchs der Physik und Meteorologie«, Braunschweig 1858, und auf meine »Elemente der ebenen und sphärischen Trigonometrie«, Braunschweig 1859, in welchen der Leser auf wenigen Bogen die Grundzüge dieser wichtigen Disciplinen leicht faßlich entwickelt findet.

Am ſchwierigſten iſt die elementare Behandlung im aſtronomiſchen Theile durchzuführen. Hier nun war ich bemüht, ſoweit als möglich den Gang der Erſcheinungen durch Beiſpiele zu erläutern, welche entweder von wirklich angeſtellten Beobachtungen, oder aus aſtronomiſchen Jahrbüchern entnommen ſind, weil an concreten Beiſpielen am leichteſten eine lebendige und klare Anſchauung gewonnen wird. Da wo allgemeine Entwickelungen die Kräfte der Elementar-Mathematik überſchritten haben würden, habe ich, wenigſtens für ſpecielle Fälle, durch numeriſche Berechnungen den Zuſammenhang verſtändlich zu machen geſucht.

Da ſich der naturwiſſenſchaftliche Unterricht vor allen Dingen auf Anſchauung gründen muß, da namentlich in Werken, welche auch zum Selbſtunterrichte dienen ſollen, dieſer Punkt ganz beſonders zu berückſichtigen iſt, ſo habe ich auf die Abbildungen eine ganz beſondere Aufmerkſamkeit und Mühe verwendet, und die Verlagshandlung hat keine Opfer geſcheut, dies Beſtreben in jeder Beziehung auf das Kräftigſte zu unterſtützen, wie ſchon ein oberflächlicher Anblick der in den Text eingedruckten Holzſchnitte ſowohl, als auch der zu einem Atlas verbundenen Stahlſtiche zeigt. Für ſchwierig zu zeichnende Apparate habe ich mit Erfolg die Photographie in Anwendung gebracht. — Auf den Karten des Atlaſſes habe ich möglichſt jede Ueberladung auf einem Blatte zu vermeiden geſucht. Weil das Bild des geſtirnten Himmels durch Begränzung der Sternbilder und durch Eintragen der Namen geſtört wird, ſo ſind in dem Atlas zweierlei Sternkarten gegeben; einmal ſolche, welche das Bild des geſtirnten Himmels möglichſt treu wiedergeben, und dann ſolche, in welchen man die Abtheilung der Sternbilder, die Namen u. ſ. w. findet. Auf einer beſonderen Tafel ſind die wahren Bahnen der unteren, auf einer anderen die wahren Bahnen der oberen Planeten gegeben, und den Kometenbahnen ſind zwei Tafeln gewidmet, weil die Vereinigung aller Planetenbahnen ſammt den Bahnen der wiederkehrenden Kometen auf einer Tafel alle Ueberſichtlichkeit zerſtört haben würde. Ebenſo habe ich lieber die Anzahl der Erdkarten vermehrt und auf jede derſelben immer nur ein einziges Curvenſyſtem aufgetragen, damit daſſelbe dem Leſer auf den erſten Blick klar und verſtändlich ſei, und er nicht nöthig habe, mit Mühe den Verlauf einer Linie in dem Chaos anderer Curven zu verfolgen, wie es unvermeidlich iſt, wenn man mehrere Curvenſyſteme auf derſelben Tafel vereinigt.

Die zahlreichen Abbildungen aller Art tragen ſo ſehr zum leichteren Verſtändniß der vorgetragenen Materien bei, ſie erleichtern ſo ſehr das Studium derſelben, und ſind desbalb auch ſo ſehr im Intereſſe des Leſers, daß von dieſer Seite wohl ſchwerlich der Vorwurf eines unnöthigen Luxus zu fürchten iſt.

Da ein Werk wie das vorliegende nicht allein zur Lectüre, ſondern auch zum Nachſchlagen dienen ſoll, ſo muß man es dem Leſer möglichſt erleichtern, ſich darin zurecht zu finden. Ich habe deshalb dem Buche zwei Regiſter beigegeben, ein ſyſtematiſches, aus welchem man die Ordnung überſehen kann, in welcher die einzelnen Materien behandelt worden ſind, und ein alphabetiſches, aus welchem man erfährt, wo man nachzuſchlagen hat, um über beſtimmte Gegenſtände Auskunft zu erhalten.

Ich habe das Buch mit Fleiß und Sorgfalt, mit Luſt und Liebe ausgearbeitet. Möge es dazu beitragen, den Naturwiſſenſchaften Freunde zu gewinnen und all das Gute zu fördern, was mit ihrer Cultur und Verbreitung verbunden iſt.

Freiburg, im Januar 1856.

Dr. J. Müller.

Vorrede zur zweiten Auflage.

Unter der Hinweisung auf die Vorrede der ersten Auflage des vorliegenden Lehrbuchs der kosmischen Physik, in welcher die Tendenz dieses Werkes näher erörtert wurde, habe ich der zweiten Auflage desselben nur wenige einleitende Worte vorauszuschicken.

Zu einer vollständigen Umarbeitung lag ein Bedürfniß weder in Betreff des Ganzen, noch in Beziehung auf einzelne Abschnitte vor; dagegen habe ich alle Kapitel mit Fleiß und Sorgfalt überarbeitet, so daß die vorliegende zweite Auflage als eine wesentlich verbesserte und vermehrte bezeichnet werden kann.

Eine wesentliche Bereicherung ist der neuen Auflage aus den wichtigeren Naturerscheinungen erwachsen, welche ich seit der Vollendung der ersten Auflage zu beobachten Gelegenheit hatte, wie z. B. das Zodiacallicht, die Mondfinsterniß von 1856 und den Donati'schen Kometen. Ich habe von diesen Erscheinungen möglichst getreue Abbildungen zu geben versucht, welche eine Vermehrung der Tafeln des Atlasses nöthig machten.

Als eine weitere Bereicherung des Atlasses muß ich zwei größere Tafeln bezeichnen, welche die wahren Bahnen der Planeten mit genauer Bezeichnung des Ortes enthalten, welchen sie in bestimmten Zeitpunkten einnehmen. Mit Hülfe dieser Tafeln läßt sich der scheinbare Lauf der Planeten für eine gegebene Periode auf graphischem Wege ableiten und eine so klare Einsicht in den Zusammenhang dieser Erscheinungen gewinnen, wie es kaum auf andere Weise möglich sein mögte.

Bei der Ausführung der angedeuteten graphischen Constructionen sind allerdings die Brüche störend, welche diese Tafeln beim Einlegen in den Atlas erlitten haben. Für Solche, welche die fraglichen Constructionen wirklich ausführen wollen, dürfte es deshalb am zweckmäßigsten sein, dieselben aus dem Atlas heraus zu nehmen und auf gute, nicht zu dicke Pappendeckel aufziehen zu lassen.

Die eben beſprochenen beiden Tafeln ſind dem rühmlichſt bekannten Werkchen des Herrn Dr. Nell über den Planetenlauf entnommen. Ich fühle mich verpflichtet für die große Bereitwilligkeit, mit welcher Herr Dr. Nell die Erlaubniß ertheilte, die fraglichen Tafeln für unſere kosmiſche Phyſik benutzen zu dürfen, demſelben öffentlich meinen Dank auszuſprechen.

Freiburg, im Auguſt 1860.

Dr. J. Müller.

Inhaltsverzeichniß.

Seite

Einleitung 1

Erstes Buch.

Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Erstes Capitel.

Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.

1. Das Himmelsgewölbe 5
2. Tägliche Bewegung der Gestirne 7
3. Sternzeit 10
4. Sternbilder 11
5. Bezeichnung der einzelnen Sterne 14
6. Orientirung am Himmel 16
7. Höhe und Azimut 19
8. Bestimmung des Meridians 20
9. Das Theodolit 22
10. Bestimmung der Mittagslinie mit Hülfe des Theodolits 25
11. Theodolit mit gebrochenem Fernrohr 27
12. Declination, Stundenwinkel und Rectascension 29
13. Mittagsrohr und Mittagskreis 33
14. Das Aequatorial-Instrument 38

Zweites Capitel.

Gestalt, Größe und Axendrehung der Erde.

15. Krümmung der Erdoberfläche 43
16. Bestimmung der Kugelgestalt durch astronomische Beobachtungen 48
17. Geographische Länge und Breite 51
18. Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes 53
19. Bestimmung der geographischen Länge 54
20. Abplattung der Erde 56
21. Axendrehung der Erde 58
22. Foucault's Pendelversuch 62

Drittes Capitel.

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

Seite

23. Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe 68
24. Pol der Ekliptik, Länge und Breite am Himmel 71
25. Der Thierkreis 73
26. Wahre und mittlere Sonnenzeit 73
27. Anblick des Himmels in den Nachtstunden verschiedener Monate 76
28. Bestimmung des Stundenwinkels eines Sternes für einen gegebenen Augenblick 78
29. Zeitbestimmung durch Culminationsbeobachtungen 79
30. Zeitbestimmung durch correspondirende Höhen 80
31. Zeitbestimmung durch einfache Sonnenhöhen 81
32. Die Sonnenuhr 85
33. Bestimmung des Frühlingspunktes 85
34. Der Kalender 87
35. Rückgang der Aequinoctialpunkte 88
36. Nutation 91
37. Erklärung der scheinbaren Bewegung der Sonne 91
38. Jährliche Bewegung der Erde um die Sonne 92
39. Eintheilung der Erde in fünf Zonen 96
40. Tagesdauer an verschiedenen Orten und in verschiedenen Jahreszeiten . . 97
41. Wahre Gestalt der Erdbahn 101
42. Entfernung der Sonne von der Erde 103
43. Dimensionen der Sonne 106
44. Sonnenflecken 107
45. Die Sonnenatmosphäre 110
46. Das Zodiacallicht 112

Viertes Capitel.

Die Planeten.

47. Scheinbare Bewegung der Planeten 116
48. Veränderlichkeit im Glanz und der Größe der Planeten 122
49. Ptolemäisches, Aegyptisches und Tychonisches Planetensystem 123
50. Das Copernicanische Weltsystem 127
51. Erklärung der Rückläufigkeit nach dem Copernicanischen System 128
52. Construction der scheinbaren Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System 129
53. Modell zur Erklärung des Planetenlaufs 135
54. Elemente der Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System 137
55. Die Kepler'schen Gesetze 140
56. Mercur 143
57. Venus 144
58. Mars 148
59. Jupiter 149
60. Saturn 150
61. Uranus 151
62. Die kleinen Planeten 153
63. Neptun 156
64. Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine 156

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

Seite
65. Die Trabanten 158
66. Scheinbare Bahn des Mondes 158
67. Phasen des Mondes 159
68. Gestalt der Mondsbahn 162
69. Sternbedeckungen 164
70. Parallaxe, Entfernung und Größe des Mondes 165
71. Bahn des Mondes im Sonnensystem 167
72. Mondfinsternisse 167
73. Sonnenfinsternisse 173
74. Axendrehung des Mondes 177
75. Libration des Mondes 178
76. Die Oberfläche des Mondes 180
77. Die Trabanten des Jupiter 183
78. Die Trabanten der äußersten Planeten 187

Sechstes Capitel.

Die Kometen.

79. Eigenthümlichkeiten der Kometen 189
80. Ansehen der Kometen 189
81. Scheinbare Bahn der Kometen 192
82. Der Donati'sche Komet 194
83. Wahre Gestalt der Kometenbahnen 197
84. Wiederkehrende Kometen 200

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

85. Mechanische Erklärung der Planetenbewegung durch Newton 203
86. Die Planeten werden durch Centralkräfte angetrieben 204
87. Abnahme der Centralkraft mit wachsender Entfernung von der Sonne . 205
88. Die allgemeine Schwere 206
89. Masse der Sonne und der Planeten 209
90. Dichtigkeit der Erde 211
91. Anwendung der Drehwage zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde 213
92. Dichtigkeit der Weltkörper verglichen mit der des Wassers 217
93. Größe der Schwerkraft auf der Oberfläche der Sonne und der Planeten 218
94. Die Störungen 219
95. Entdeckung des Neptun 221
96. Störungen der Kometen 222
97. Störungen der Mondsbahn 223
98. Ebbe und Fluth 225
99. Mechanische Erklärung der Ebbe und Fluth 226
100. Erklärung der Präcession 229

Achtes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

Seite
101. Fortschreitende Bewegung einzelner Sterne am Fixsternhimmel 237
102. Jährliche Parallaxe der Fixsterne 238
103. Größe der jährlichen Parallaxe und Entfernung der Fixsterne 239
104. Doppelsterne 242
105. Fortschreiten unseres ganzen Planetensystemes im Weltraume 245

Zweites Buch.

Kosmische und atmosphärische Lichterscheinungen.

Erstes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

106. Photometrische Vergleichung der Fixsterne 249
107. Veränderliche Sterne 251
108. Temporäre Sterne 252
109. Farbige Sterne 253
110. Ansehen der Sterne mit bloßem Auge und mit dem Fernrohre betrachtet 253
111. Anwendung des Polariskops zur Prüfung des Lichtes der Gestirne . . . 254
112. Milchstraße, Nebelflecken und Sternhaufen 255
113. Geschwindigkeit des Lichtes 260
114. Aberration des Lichtes 263

Zweites Capitel.

Erscheinungen, welche durch Brechung und Spiegelung des Lichtes in der Atmosphäre bewirkt werden.

115. Atmosphärische Refraction 266
116. Das Funkeln der Sterne 269
117. Unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft 270
118. Größe der Lichtabsorption in der Atmosphäre 272
119. Die allgemeine Tageshelle 273
120. Die Farbe des Himmels 274
121. Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des Abendrothes 276
122. Polarisation des blauen Himmels 279
123. Die Dämmerung 281
124. Luftspiegelung 284
125. Der Regenbogen 289
126. Höfe und Nebensonnen 296

Drittes Buch.

Die caloriſchen Erſcheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmoſphäre.

Erſtes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

Seite

127. Die Meteorologie 301
128. Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenſtrahlen 303
129. Die fünf Zonen 304
130. Die täglichen Variationen der Lufttemperatur 304
131. Die Jahreszeiten 305
132. Modificationen normaler Temperaturverhältniſſe 308
133. Stündliche Beobachtungen 309
134. Größe der täglichen Temperaturſchwankungen 310
135. Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres 313
136. Jahresiſothermen 317
137. Monatsiſothermen 323
138. Thermiſche Iſanomalen 330
139. Land- und Seeklima 331
140. Urſachen der Krümmung der Iſothermen 334
141. Abweichungen vom normalen Gange der Wärme 336
142. Gleichzeitige Witterungsverhältniſſe verſchiedener Gegenden 339
143. Veränderlichkeit monatlicher Mittel 341
144. Abnahme der Temperatur in höheren Luftregionen 346
145. Temperaturſchwankungen in höheren Luftregionen 350
146. Temperaturverhältniſſe der Hochebenen 351
147. Die Schneegränze 352
148. Die Gletſcher 356
149. Abſorption der Wärmeſtrahlen durch die Atmoſphäre 364
150. Die nächtliche Strahlung 368
151. Temperatur des Bodens 370
152. Innere Erdwärme 373
153. Vulcane 375
154. Erdbeben 377
155. Quellentemperatur 380
156. Die periodiſchen Springquellen Islands 381
157. Erklärung des Geyſirphänomens 384
158. Temperatur der Seen und Flüſſe 388
159. Temperatur der Meere 390

Zweites Capitel.

Das Luftmeer, ſein Druck und ſeine Strömungen.

160. Die Lufthülle der Erde 394
161. Barometriſche Höhenmeſſung 395
162. Höhe der Atmoſphäre 398
163. Tägliche Variationen des Barometers 398

Seite
164. Jährliche Periode der Barometerschwankungen 404
165. Einfluß der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers 406
166. Mittlere monatliche Schwankungen 408
167. Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres 410
168. Ursachen der Barometerschwankungen 411
169. Entstehung der Winde 414
170. Passatwinde und Moussons 416
171. Winde in höheren Breiten 418
172. Gesetz der Winddrehung 420
173. Barometrische und thermometrische Windrose 422
174. Heiße Winde 423
175. Stürme 425
176. Verminderung des Luftdruckes bei Stürmen 426
177. Richtung der Stürme in der heißen Zone 428
178. Tromben und Wasserhosen 429

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

179. Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft 433
180. Daniel's Hygrometer 436
181. August's Psychrometer 440
182. Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft 443
183. Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft 447
184. Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden 448
185. Der Thau 450
186. Nebel und Wolken 451
187. Regenmenge 455
188. Regen zwischen den Wendekreisen 460
189. Der Schnee 461
190. Der Hagel 463

Viertes Buch.

Die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche.

Erstes Capitel.

Atmosphärische Elektricität.

191. Entdeckung der atmosphärischen Elektricität 471
192. Feste Sammelapparate für atmosphärische Elektricität 473
193. Die Blitzableiter 474
194. Galvanische Prüfung der Blitzableiter 477
195. Wirkungen der Gewitter auf elektrische Telegraphen 479
196. Elektricität der Gewitterwolken 481
197. Aeußerer Charakter der Gewitterwolken 482

Seite
198. Der Blitz und das Wetterleuchten 483
199. Der Donner 484
200. Wirkungen des Blitzschlages 484
201. Geographische Verbreitung der Gewitter 490
202. Beobachtung schwacher Luftelektricität 492
203. Atmosphärische Elektricität an verschiedenen Localitäten 496
204. Die Luftelektricität bei verschiedenem Zustande des Himmels 497
205. Periodische Veränderungen der atmosphärischen Elektricität 498
206. Quelle der Luftelektricität 500

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

207. Magnetische Wirkung der Erde im Allgemeinen 503
208. Bestimmung der magnetischen Declination 504
209. Bestimmung der Inclination 509
210. Bestimmung der horizontalen Intensität 512
211. Die magnetischen Constanten verschiedener Orte 514
212. Magnetische Curven 518
213. Lament's magnetische Karten 527
214. Theorie des Erdmagnetismus 530
215. Die säcularen Variationen 535
216. Die täglichen Variationen 537
217. Magnetische Störungen 538
218. Ursache der magnetischen Störungen 545
219. Das Nordlicht 546
220. Beschreibung eines von Biot beobachteten Nordlichts 549
221. Beschreibung des Nordlichts von 1836 550
222. Beschreibung der von Lottin zu Bossekop beobachteten Nordlichter 552
223. Beziehungen des Nordlichts zum Erdmagnetismus 555
224. Höhe, Ausdehnung und geographische Verbreitung der Nordlichter . . . 557

Einleitung.

Es ist die Aufgabe der Experimentalphysik, die Naturkräfte kennen zu lehren und die Gesetze zu erforschen, nach welchen sie wirken; ihren Namen hat die genannte Wissenschaft daher, weil man das eben angedeutete Ziel vorzugsweise durch Versuche, durch Experimente zu erreichen sucht.

Für die Experimentalphysik ist die Erkenntniß der Naturgesetze an und für sich die Hauptsache. Wie sich mit Hülfe dieser Gesetze die Naturerscheinungen im Großen erklären lassen, kann in dem Vortrage derselben wohl hier und dort als erläuterndes Beispiel besprochen werden, aber eine auch nur einigermaßen vollständige Durchführung nach dieser Seite hin würde der Physik im engern Sinne des Wortes (das, was man eben gewöhnlich Experimentalphysik zu nennen pflegt) eine übermäßige, die Uebersicht nur erschwerende Ausdehnung geben.

In der Physik lernen wir das Gesetz der Trägheit und die allgemeinen Gesetze der Bewegung kennen, wie sie durch irgend welche beschleunigenden Kräfte unter dem Einflusse der Trägheit zu Stande kommen; die Bewegungserscheinungen der Himmelskörper aber und ihre mechanische Erklärung gehört der Astronomie an.

Die Experimentalphysik lehrt uns, wie sich die Luft unter dem Einflusse der Wärme ausdehnt und wie die erwärmte Luft in Folge ihres geringern specifischen Gewichtes aufsteigt; wie aber aus der ungleichen Erwärmung der Luftmassen, welche unsere Erdkugel einhüllen, die Winde entstehen, wie sich die Windverhältnisse verschiedener Gegenden gestalten, wie der Passatwind in der Nähe der Wendekreise und wie das Gesetz der Winddrehung in höherer Breite zu erklären sei, kann in der Experimentalphysik selbst nicht erörtert werden, die Untersuchung dieser Gegenstände gehört einem besondern Zweige der physikalischen Wissenschaften, der Meteorologie, an.

Ebenſo behandelt die Meteorologie die Wolken- und Nebelbildung, den Regen, die Thaubildung u. ſ. w., während die Experimentalphyſik die Grundlage zur Erklärung dieſer Phänomene liefert, nämlich die Geſetze der Dampfbildung, der Condenſation des Waſſerdampfes und die Geſetze der ſtrahlenden Wärme.

Eine ausführliche Betrachtung der meteorologiſchen und aſtronomiſchen Erſcheinungen kann der Experimentalphyſik ebenſowenig einverleibt werden, als eine ſpecielle Beſprechung der techniſchen Anwendung phyſikaliſcher Geſetze.

Wie man reine und angewandte Mathematik unterſcheidet, ſo könnte man auch reine und angewandte Phyſik unterſcheiden; die kosmiſche und die techniſche Phyſik ſind wohl die wichtigſten Zweige der letzteren.

Die kosmiſche Phyſik, welche die Aſtronomie und die Meteorologie umfaßt, ſoll die Naturerſcheinungen im Großen verfolgen und ſie, ſo weit als möglich, auf phyſikaliſche Geſetze zurückführen; — ſie hat alſo zu zeigen, wie dieſelben Kräfte, welche die Experimentalphyſik uns kennen lehrt, in der ganzen Schöpfung zur Wirkung kommen, wie dieſelben Geſetze, die wir im phyſikaliſchen Cabinet erforſchen, das ganze Weltall beherrſchen.

Da alſo die kosmiſche Phyſik gleichſam eine Anwendung der Phyſik zur Erklärung der Erſcheinungen iſt, welche wir in den Himmelsräumen und auf der Erdoberfläche beobachten, ſo werden auch die einzelnen Abſchnitte, in welche ſie zerfällt, den Hauptabtheilungen der Experimentalphyſik: Mechanik, Optik, Wärme und Elektricität, entſprechen; das vorliegende Werk beſteht demnach aus vier Büchern, deren Inhalt in Kürze folgender iſt:

Das erſte Buch beſpricht die Bewegungserſcheinungen der Himmelskörper und ihre mechaniſche Erklärung.

Das zweite Buch behandelt die kosmiſchen und atmoſphäriſchen Lichterſcheinungen.

Das dritte Buch beſchäftigt ſich mit den caloriſchen Erſcheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmoſphäre.

Den Gegenſtand des vierten Buches endlich bilden die Erſcheinungen der Luftelektricität und des Erdmagnetismus.

Erstes Buch.

Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Erſtes Capitel.

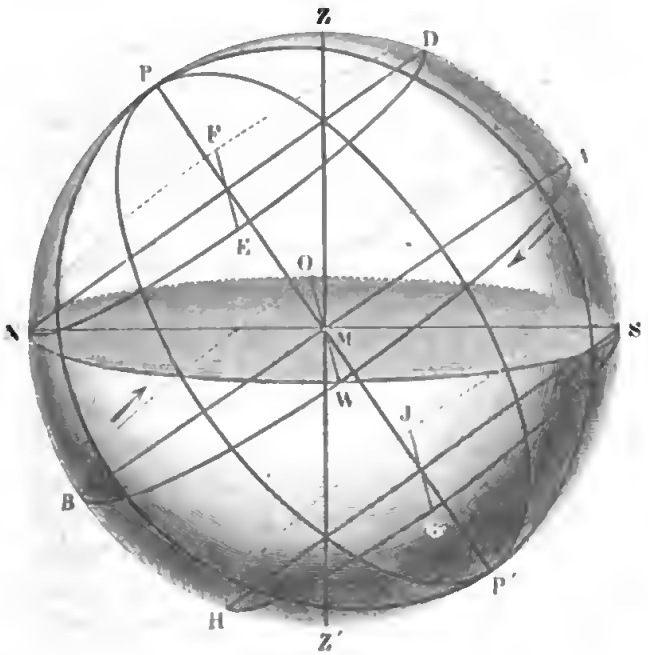
Der Fixſternhimmel und ſeine tägliche Bewegung.

Das Himmelsgewölbe. Der Himmel erſcheint uns, wenn er nicht 1
durch Wolken verdeckt iſt, als eine ungeheure Hohlkugel, von welcher wir jedoch nie mehr als die Hälfte auf einmal überſehen können. In einer ganz flachen Gegend oder auf dem Meere erſcheint uns die Oberfläche der Erde als eine Ebene, welche von der ſichtbaren Hälfte der Himmelskugel überwölbt iſt. Wir befinden uns ſcheinbar in der Mitte dieſer Ebene und in dem Mittelpunkte des Himmelsgewölbes.

Die durch das Auge des Beobachters gelegte wagerechte Ebene, welche die ſichtbare Hälfte der Himmelskugel von der unſichtbaren ſcheidet, heißt der **Horizont.**

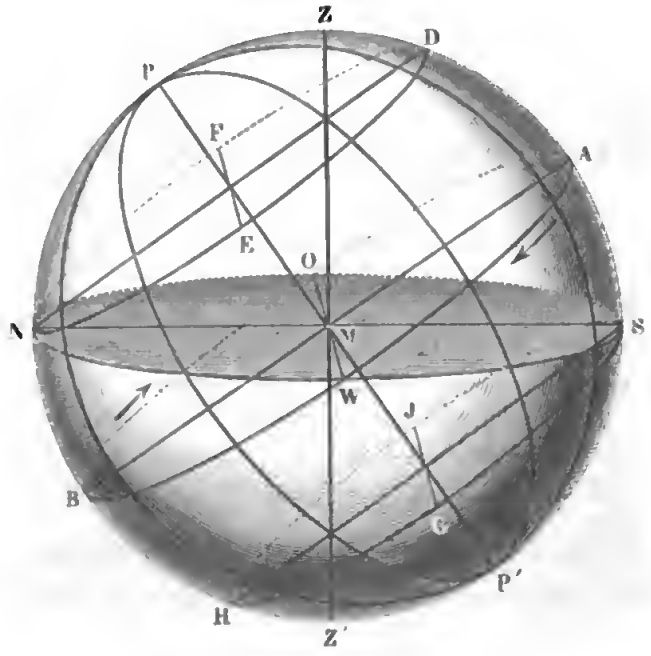
Fig. 1 ſtellt die Himmelskugel dar. *M* iſt der Standpunkt des Beob-

Fig. 1.



achters, der Mittelpunkt der Hohlkugel. — $NOSW$ iſt die durch den Mittelpunkt M gelegte Horizontalebene. Die obere Hälfte der Kugel ſei die ſichtbare, die untere die unſichtbare Hemiſphäre des Himmels.

Fig. 2.



Denken wir uns durch M eine Linie gezogen, welche auf dem Horizont rechtwinklig ſteht, ſo trifft dieſe Linie die Himmelskugel in den Punkten Z und Z'. Der gerade über dem Haupte des Beobachters liegende Punkt Z heißt das Zenith, der untere Z' heißt das Nadir.

Bei Tage ſehen wir die Sonne glänzend am blauen Himmel ſtehen; ſobald ſie untergegangen iſt, wird die Farbe des Himmels allmälig dunkler und nun erſcheint eine Menge funkelnder Sterne, deren um ſo mehr ſichtbar werden, je dunkler das Himmelsgewölbe wird.

Die Sterne, ungleich an Glanz und Helligkeit, erſcheinen uns unregelmäßig über das Himmelsgewölbe zerſtreut. Die wenigen Planeten und Kometen ausgenommen, haben ſie eine unveränderliche Stellung gegen einander, weshalb ſie auch den Namen der Fixſterne führen. Zur leichtern Orientirung hat man ſchon im grauen Alterthume die Sterne in Gruppen abgetheilt, welche die Namen von Heroen, Thieren u. ſ. w. führen, weshalb man denn auch jene Sterngruppen als Sternbilder bezeichnet und ſie in den Sternkarten gewöhnlich mit den entſprechenden Figuren bedeckt. Dieſe Figuren ſind meiſt ganz willkürlich gewählt und durchaus nicht durch die Gruppirung der Sterne bedingt, wie man denn z. B. aus den entſprechenden Sterngruppen ſchwerlich einen Bären, einen Löwen, eine Jungfrau u. ſ. w. herausfinden wird.

Näheres über die Sternbilder in einem der nächſten Paragraphen.

Tägliche Bewegung der Gestirne. Obgleich die gegenseitige Stel- 2
lung der Fixsterne unter einander eine unveränderliche ist, so ändert sich doch beständig ihre Stellung gegen die Erdoberfläche, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man, ohne seinen Beobachtungsort zu ändern, nur etwa eine halbe Stunde lang die Stellung irgend eines Sternes gegen eine Bergspitze, einen Thurm oder sonst einen festen Punkt auf der Erdoberfläche beobachtet.

Weit auffallender als mit bloßem Auge erscheint die eigene Bewegung der Gestirne, wenn man sie durch stark vergrößernde Fernröhre betrachtet. In kurzer Zeit hat der Stern das Gesichtsfeld des Fernrohres durchwandert.

Diese allen Fixsternen gemeinschaftliche Bewegung ist nun von der Art, daß es scheint, als drehe sich die ganze Himmelskugel sammt allen Sternen in je 24 Stunden um eine feste Axe, welche den Namen der Weltaxe führt.

Im mittlern Deutschland macht diese Weltaxe PP' (Fig. 2) einen Winkel von 50° mit dem Horizont, und dieser Winkel PMN, welcher, wie wir bald sehen werden, für verschiedene Orte auf der Erde sehr verschiedene Werthe hat, wird mit dem Namen der Polhöhe bezeichnet. Die Punkte P und P', in welchen die Weltaxe das Himmelsgewölbe trifft, sind die Pole des Himmels. Der in Deutschland sichtbare Himmelspol P ist der Nordpol des Himmels. Die Polhöhe eines Ortes auf der Erdoberfläche ist also der Winkel, welchen die vom Auge des Beobachters nach dem sichtbaren Pole des Himmels gerichtete Visirlinie mit der Horizontalebene macht.

Eine rechtwinklig auf die Weltaxe durch den Punkt M gelegte Ebene $AWBO$ ist der Himmelsäquator. Mit demselben Namen des Himmelsäquators bezeichnet man aber nicht allein die genannte Ebene, sondern oft auch die Kreislinie, in welcher die Aequatorebene das Himmelsgewölbe schneidet.

Der Aequator theilt die Himmelskugel in eine nördliche und eine südliche Hemisphäre.

Denken wir uns senkrecht zur Ebene des Horizonts durch den Nordpol des Himmels P und das Zenith Z eine Ebene gelegt, so ist dies der Meridian, und die Durchschnittslinie NS des Meridians mit dem Horizont ist die Mittagslinie des Beobachtungsortes M.

Die Mittagslinie trifft die Himmelskugel in den Punkten N und S. Der dem Nordpole des Himmels näher gelegene, N, ist der Nordpunkt, S ist der Südpunkt.

Stellt sich der Beobachter in M so auf, daß er Norden im Rücken, Süden aber vor sich hat, so liegt Osten zu seiner Linken, Westen zu seiner Rechten.

Die Punkte O und W sind der Ostpunkt und der Westpunkt des Himmels.

Nach diesen Definitionen können wir nun die Gesetze der täglichen Bewegung des Himmels näher erörtern.

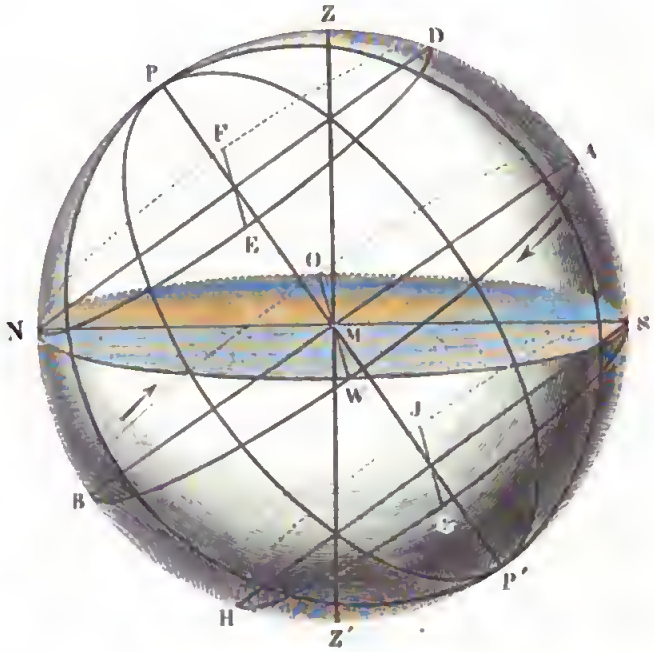
Die scheinbare Drehung der Himmelskugel findet in der Richtung von Osten nach Westen, also in der Richtung der Pfeile in unserer Figur, Statt. Auf der Ostseite steigen die Gestirne auf, sie erreichen im Me-

ridian ihre größte Höhe und gehen dann auf der Weſtſeite wieder nieder. Wenn ein Stern gerade im Meridian ſteht, ſo ſagt man, daß er *culminirt*.

Während der täglichen Umdrehung beſchreiben die in der Nähe des Pols *P* liegenden Sterne, welche man *Circumpolarſterne* nennt, nur kleine Kreiſe um denſelben. In unſeren Gegenden liegen die Kreiſe, welche die Circumpolarſterne beſchreiben, ganz über dem Horizont; dieſe Sterne gehen alſo nicht auf und nicht unter.

Ein 50° vom Nordpol rechtwinklig auf die Weltaxe ſtehender Kreis *DENF*, Fig. 3, ſchneidet denjenigen Theil des Himmels ab, deſſen Sterne

Fig. 3.



im mittlern Deutſchland ſtets über dem Horizonte bleiben. Dieſem Kreiſe entſprechend iſt auf der Südhälfte der Himmelskugel ein Kreis *SGHJ* gezogen, welcher den bei uns ſtets unſichtbaren Theil des Himmels abſchneidet.

Diejenigen Sterne, welche beſtändig über dem Horizonte bleiben, paſſiren während 24 Stunden zweimal ſichtbar den Meridian, einmal, wenn ſie auf der Oſtſeite des Himmels aufſteigend ihren höchſten Punkt erreicht haben, und dann, wenn ſie nach ihrem Niedergange auf der Weſtſeite des Himmels in ihrer tiefſten Stellung angekommen ſind.

Die Circumpolarſterne haben alſo eine *ſichtbare obere* und eine *ſichtbare untere* Culmination.

Alle Sterne, welche ſich auf der durch die Kreiſe *DENF* und *SGHJ* begränzten Zone befinden, beſchreiben Bahnen, welche theils oberhalb, theils unterhalb des Horizontes liegen: alle auf dieſer Zone liegenden Sterne gehen alſo auf und unter. Derjenige Theil einer Sternbahn, welcher über dem

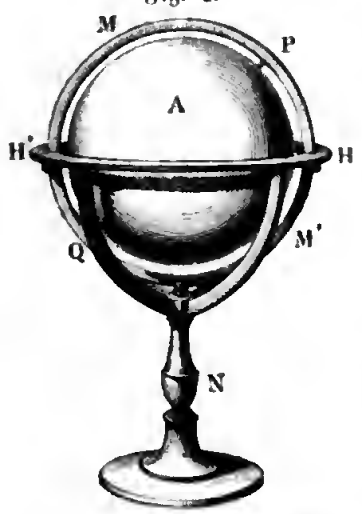
Horizonte liegt, heißt der Tagbogen, der unterhalb des Horizontes liegende Theil dagegen ist der Nachtbogen.

Für alle Sterne, welche auf dem Himmelsäquator liegen, ist der Tagbogen dem Nachtbogen gleich. In unseren Gegenden ist der Tagbogen für die auf der nördlichen, der Nachtbogen für die auf der südlichen Hemisphäre liegenden Sterne größer.

Die auf- und untergehenden Sterne gehen allerdings auch während einer Umdrehung der Himmelskugel zweimal durch die Ebene des Meridians, aber nur ihre obere Culmination ist sichtbar.

Die bisher besprochenen Erscheinungen der täglichen Bewegung des Himmels lassen sich sehr gut mit Hülfe eines Himmelsglobus, Fig. 4, anschaulich machen.

Fig. 4.



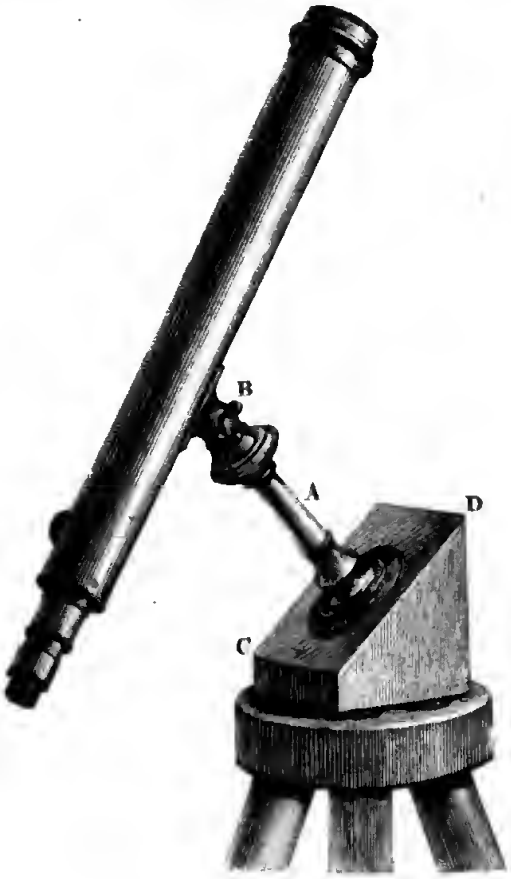
Auf einem passenden Gestelle ist ein messingener Ring MM' eingesetzt, innerhalb dessen eine um die Axe PQ drehbare Kugel A angebracht ist. Auf dieser Kugel sind die verschiedenen Sterne und Sternbilder in gehöriger gegenseitiger Stellung verzeichnet. PQ stellt die Weltaxe, HH' die Ebene des Horizontes dar. Um die Erscheinungen nachzuahmen, wie sie im mittleren Deutschland beobachtet werden, hat man nur den Ring M so zu stellen, daß die Axe PQ um 50^0 gegen den Horizont geneigt ist, d. h. daß der Bogen von P bis H 50^0 beträgt. Um eine gehörige Einstellung möglich zu machen, ist der Ring MM' in Grade eingetheilt.

Wir werden später noch einmal auf den Gebrauch des Himmelsglobus zurückkommen.

Um sich davon zu überzeugen, daß jeder Stern in der That einen Kreis um die Weltaxe beschreibt, braucht man nur ein Fernrohr so aufzustellen, daß es sich um eine feste Axe drehen läßt, deren Richtung mit der Weltaxe parallel ist. Fig. 5 (a. f. S.) zeigt eine hierzu geeignete Vorrichtung. Von dem gewöhnlichen Stativ eines Fernrohres, welches eine Drehung um eine verticale und um eine horizontale Axe erlaubt, sind die Füße weggenommen und die sonst vertical stehende Säule A rechtwinklig auf der schrägen Fläche CD eines Klotzes befestigt, welche mit dem Horizonte einen ebenso großen Winkel macht wie der Himmelsäquator. Stellt man nun den Apparat so auf, daß die Fläche CD dem Himmelsäquator parallel ist, so fällt die Axe BA mit der Richtung der Himmelsaxe zusammen. Richtet man alsdann das Fernrohr auf irgend einen Stern, schraubt man dann die Schraube B fest zu, so daß der Winkel, welchen das Fernrohr mit der Säule A macht, sich nicht mehr ändern kann, so braucht man das Fernrohr nur langsam um die Axe A zu drehen, um den Stern beständig im Gesichtsfelde zu behalten.

Bei dieser Umdrehung beschreibt die Visirlinie des Fernrohres eine Kegelfläche und der Durchschnitt dieser Kegelfläche mit dem Himmelsgewölbe ist ein Kreis, welcher mit dem Himmelsäquator parallel läuft. Aus diesem Grunde sagt man auch, daß ein Fernrohr, welches in der erwähnten Weise aufgestellt ist, parallaktisch aufgestellt sei.

Fig. 5



Wir werden später zweckmäßigere und vollkommnere Formen parallaktischer Aufstellung kennen lernen.

3 **Sternzeit.** Die Zeit, welche zwischen je zwei auf einander folgenden oberen Culminationen eines und desselben Fixsternes vergeht, wird ein Sterntag genannt.

Der Sterntag wird in 24 Stunden, jede dieser Stunden in 60 Minuten, jede Minute in 60 Secunden getheilt.

Die mittlere Sonnenzeit, nach welcher unsere gewöhnlichen Uhren gehen, ist von der eben erwähnten Sternzeit verschieden; denn die Zeit, welche von einer Sonnenculmination bis zur nächsten vergeht, ist, wie wir bald sehen werden, größer als ein Sterntag.

Ein Sterntag ist nach mittlerer Sonnenzeit gleich 23 Stunden 56′ und 4,09″, woraus sich folgende Vergleichung der Sternzeit und der mittleren Sonnenzeit ergiebt:

Sternzeit.	Mittlere Zeit.
1^h	$0^h\ 59'\ 50{,}17''$
$1'$	$59{,}81$

und

Mittlere Zeit.	Sternzeit.
1^h	$1^h\ 0'\ 9{,}86''$
$1'$	$1\ 0{,}16$

Auf Sternwarten werden nicht allein Uhren gebraucht, welche nach mittlerer Sonnenzeit, sondern auch solche, welche nach Sternzeit gehen.

Die Sternzeit könnte man von der Culmination irgend eines beliebigen Sternes zählen, was aber in der That nicht geschieht; denn die Astronomen zählen den Sterntag von der Culmination eines bestimmten, später näher zu definirenden Punktes auf dem Himmelsäquator an, welcher den Namen des Frühlingspunktes führt und an dessen Stelle gerade kein Stern steht. Vorläufig mag nur bemerkt werden, daß der Frühlingspunkt derjenige ist, in welchem die Sonne im März den Himmelsäquator passirt.

Hier mag auch die Bemerkung Platz finden, daß die Astronomen ihren Sonnentag von Mittag zu Mittag zählen und nicht, wie es im bürgerlichen Leben geschieht, von Mitternacht zu Mitternacht, und daß sie ferner die 24 Stunden ununterbrochen fortzählen, und zwar beginnen sie ihren Tag am Mittag des gleichnamigen bürgerlichen Tages.

Die folgende kleine Tabelle enthält für verschiedene Stunden eines beliebigen Sonnentages die entsprechende Bezeichnung nach astronomischer und bürgerlicher Zeitrechnung.

Astronomische Zeit.			Bürgerliche Zeit.		
6ten	März	0^h	6ten	März	12^h Mittags
»	»	4	»	»	4 Nachmittags
»	»	8	»	»	8 Abends
»	»	12	7ten	März	0 Mitternacht
»	»	16	»	»	4 Morgens
»	»	20	»	»	8 Morgens

Sternbilder. Für Jeden, welcher die astronomischen Erscheinungen studiren will, ist es von großer Wichtigkeit, zunächst die Bühne kennen zu lernen, auf welcher alle jene Erscheinungen vor sich gehen, also sich am Fixsternhimmel zu orientiren, d. h. sich wenigstens mit den ausgezeichneteren Sternen und ihrer gegenseitigen Stellung bekannt zu machen. 4

Die Zahl der im mittleren Europa mit bloßem Auge sichtbaren Fixsterne beträgt ungefähr 3250. Nach der Stärke ihres Glanzes hat man sie in sechs Classen abgetheilt, so daß die hellsten als Sterne erster Größe bezeichnet werden, während man die schwächsten, die einem guten Auge noch erkennbaren, Sterne sechster Größe nennt. Unter den im mittleren Deutschland sichtbaren Sternen giebt es

14	Sterne	erster Größe
51	»	zweiter »
153	»	dritter »
325	»	vierter »

810 Sterne fünfter Größe
1871 » ſechster »
15 » veränderlicher Größe.

Dazu kommt aber noch eine ungeheure Anzahl von Sternen, welche nur durch Fernröhre ſichtbar ſind und welche teleſkopiſche Sterne genannt werden.

Die Zahl der im mittleren Europa ſichtbaren Sternbilder beträgt 57, wenn man einige kleinere in ſpäteren Zeiten auf Koſten der älteren eingeführten unberückſichtigt läßt. Die Namen dieſer Sternbilder ſind:

der kleine Bär,	der Widder,	Eridanus,
Caſſiopeia,	der Stier,	der Haſe,
Kamelopard,	Orion,	die Taube,
der Drache,	die Zwillinge,	das Einhorn,
Cepheus,	der kleine Hund,	der große Hund,
Perſeus,	der Krebs,	das Schiff Argo,
der Fuhrmann,	der große Löwe,	Hydra,
der Luchs,	der kleine Löwe,	der Becher,
der große Bär,	der Sextant,	die Jungfrau,
die Jagdhunde,	das Haar der Berenice,	der Rabe,
Bootes,	die Schlange,	der Centaur,
die nördliche Krone,	Ophiuchus,	die Wage,
Hercules,	der Adler,	der Wolf,
die Leyer,	der Fuchs,	der Scorpion,
der Schwan,	der Pfeil,	der Schütze,
die Eidechſe,	der Delphin,	das Schild des Sobieski,
Andromeda,	das Füllen,	der Steinbock,
die Fiſche,	Pegaſus,	der Waſſermann,
der Triangel,	der Wallfiſch,	der ſüdliche Fiſch.

Die Karte Tab. I. zeigt in Polarprojection die Sternbilder der nördlichen Hemiſphäre bis zu einer Entfernung von 60° vom Nordpol des Himmels, welcher den Mittelpunkt dieſer Karte bildet.

Die Karte Tab. II. zeigt in Aequatorialprojection den Theil des Himmels, welcher von zwei rechtwinklig auf der Weltaxe ſtehenden Kreiſen begränzt iſt, von denen der eine 50° nördlich, der andere 50° ſüdlich vom Himmelsäquator liegt, es kommen alſo die Sterne am obern Rande von Tab. II. auch am äußern Rande von Tab. I. vor; am untern Ende von Tab. II. befinden ſich aber Sterne, welche im mittleren Europa nie über den Horizont kommen.

In dieſen Karten ſind die Sterne erſter bis fünfter Größe eingetragen, und zwar die Sterne erſter Größe als 8ſeitige Sternchen, die Sterne zweiter, dritter und vierter Größe als 6ſeitige, 5ſeitige und 4ſeitige Sternchen; die Sterne fünfter Größe endlich als bloße Punkte.

Die Sternkarten Tab. I. und Tab. II. enthalten nur die Sterne ſelbſt, um nicht durch Weiteres die Ueberſichtlichkeit der Conſtellation zu ſtören. — Die Abtheilung der Sternbilder, die Namen derſelben, die Bezeichnung der einzelnen Sterne u. ſ. w. findet man auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV.

Fig. 6.

welche, wie man ſich leicht überzeugen kann, den Karten Tab. I. und Tab. II. vollkommen entſprechen.

Ein auf der Karte Tab. III. mit dem Radius 50° gezogener Kreis begränzt den Theil des Himmels, deſſen Sterne für das mittlere Deutſchland nicht auf- und nicht untergehen.

Die Kärtchen Tab. I. und Tab. II. ſind freilich etwas zu klein, um ein recht treues Bild des geſtirnten Himmels geben und ſie unmittelbar mit demſelben vergleichen zu können, ich habe deshalb große Sternkarten im fünffachen Maßſtabe der Tab. I. und Tab. II. anfertigen laſſen (Verlag von Fr. Wagner in Freiburg). In dieſen großen Sternkarten ſind die Sterne gleichfalls weiß auf dunklem Grunde eingedruckt, der Aequator aber, die Ekliptik und die Gränzen der Sternbilder ſind durch eingedruckte rothe Linien bezeichnet, durch welche der Totaleindruck der Sterneonſtellationen nicht geſtört wird.

Fig. 6 (S. 13) und Fig. 7 (S. 15) ſtellen einzelne ſternreiche Gegenden des Himmels in etwas größerem Maßſtabe ſammt den gebräuchlichen Figuren dar, und zwar Fig. 6 die Sternbilder Orion und Stier, Fig. 7 Leyer und Schwan.

Bezeichnung der einzelnen Sterne. Die auffallenderen Sterne waren ſchon von den Alten mit beſonderen Namen belegt worden, wie z. B. Sirius, Capella, Regulus u. ſ. w.; andere Namen einzelner Sterne rühren von den Arabern her, wie Deneb, Aldebaran, Rigel u. ſ. w. Da jedoch die Zahl der einzelnen Sterne viel zu groß iſt, um jedem einen eigenen Namen beilegen zu können, ohne daß alle Ueberſichtlichkeit verloren ginge, ſo haben die Aſtronomen ſeit Bayer und Doppelmayr die einzelnen Sterne jedes Sternbildes mit griechiſchen oder lateiniſchen Buchſtaben bezeichnet, und zwar ſo, daß man den hellſten Stern des Sternbildes α, den folgenden β u. ſ. w. nannte. Später mußte man jedoch auch noch zu Zahlen ſeine Zuflucht nehmen.

Die bei uns ſichtbaren Sterne erſter Größe ſind:

1) Nördlich vom Aequator.

Wega oder α der Leyer.
Capella oder α des Fuhrmanns.
Arcturus oder α des Bootes.
Aldebaran oder α des Stiers.
Regulus oder α des Löwen.
Atair oder α des Adlers.
Pollux oder β der Zwillinge.
Procyon oder α des kleinen Hundes.
Beteigeuze oder α des Orion.

2) Südlich vom Aequator.

Rigel oder β des Orion.
Sirius oder α des großen Hundes (der hellſte Fixſtern).

Fig. 7.

Spica oder α der Jungfrau.
Antares oder α des Scorpions.
Fomalhaut oder α des ſüdlichen Fiſches.

Von Manchen wird auch noch Deneb oder α des Schwans zu den Sternen erſter Größe gerechnet.

Es wird keine Schwierigkeit haben, dieſe Sterne auf den Karten Tab. I. und Tab. II., ſowie auch auf Tab. III. und Tab. IV. aufzufinden.

Unter den Sternen zweiter Größe iſt hervorzuheben:

α ursae minoris oder der Polarſtern.

Algenib oder α des Perſeus, der nördliche von den beiden Sternen zweiter Größe, welche unſere Karte in dieſem Sternbilde zeigt. Der andere als ein Stern zweiter Größe bezeichnete iſt Algol oder β des Perſeus. Der Hauptſtern im Haupte der Meduſa, Algol, iſt veränderlich, er wechſelt zwiſchen zweiter und vierter Größe.

Der große Bär enthält ſechs Sterne zweiter Größe, welche mit einem Stern dritter Größe die Conſtellation Fig. 8 bilden, welche die Alten auch den Wagen nannten. Die Sterne δ, ε, ζ und η bilden den Schwanz des großen Bären. Alle dieſe ſieben Sterne führen auch arabiſche Namen; ſo heißt α des großen Bären auch Dubhe; Merak und Mizar ſind die arabiſchen Namen für β und ζ ursae majoris.

Im großen Löwen finden ſich außer einem Sterne erſter Größe, dem Regulus, noch drei Sterne zweiter Größe, von denen der öſtliche β leonis auch den Namen Denebola führt.

In der Nähe des ſchon erwähnten Pollux im Sternbilde der Zwillinge, und zwar nordweſtlich von demſelben, findet ſich α geminorum oder Caſtor, ein Stern zweiter Größe.

Zu den ſchönſten Sternbildern des Himmels gehören Orion und der Stier, welche in Fig. 6 beſonders dargeſtellt ſind. Wie bereits oben erwähnt wurde, ſind im Orion zwei Sterne erſter Größe, Rigel und Beteigeuze, im Stier aber einer, nämlich Aldebaran. Im Orion bilden drei nahe zuſammenſtehende Sterne zweiter Größe faſt eine gerade Linie (den Jakobsſtab oder den Gürtel des Orion), welche nach Oſten hin verlängert auf Sirius trifft.

Das Sternbild des Stieres iſt beſonders durch zwei Sterngruppen, die Hyaden und die Plejaden (das Siebengeſtirn oder die Gluckhenne), ausgezeichnet, deren ſchon Homer Erwähnung thut. Die Hyaden, zunächſt bei Aldebaran, bilden mit demſelben ein Dreieck; nordweſtlich davon ſtehen die Plejaden, ein dicht gedrängter Sternhaufen, in deſſen Mitte ſich Alcyone, ein Stern dritter Größe, befindet.

Wir werden ſpäter noch auf die Eigenthümlichkeiten einzelner Fixſterne zurückkommen.

6 **Orientirung am Himmel.** Um ſich am geſtirnten Himmel zu orientiren, geht man gewöhnlich vom Sternbilde des großen Bären aus, welches durch die ausgezeichnete Conſtellation, Fig. 8, am nördlichen Himmel zu allen

Jahreszeiten leicht aufgefunden werden kann. Denkt man sich die Linie, welche die Sterne α und β verbindet, in der Richtung von β über α hinaus verlängert und auf diese Verlängerung die Entfernung $\alpha\beta$ ungefähr $5^1/_2$mal aufgetragen, so findet man den Polarstern (α des kleinen Bären), welcher sehr geeignet ist, um auszumitteln, nach welcher Richtung hin Norden liegt.

Fig. 8.

Hat man einmal den großen Bären und den Polarstern am Himmel aufgefunden, so geben diese Sterne den Ausgangspunkt zu einer weiteren Orientirung am Himmel und zur Aufsuchung der übrigen Sternbilder. Eine öfters wiederholte Vergleichung guter Sternkarten und Himmelsgloben mit dem gestirnten Himmel selbst ist das beste Mittel, die einzelnen Sternbilder kennen zu lernen.

Um eine solche Orientirung zu erleichtern, mag hier noch angeführt werden, an welcher Stelle des Himmels Abends um 9 Uhr die wichtigsten Sternbilder zu finden sind.

In der Mitte Januar steht um 9 Uhr Abends der Stier und Orion am südlichen Himmel; Aldebaran hat bereits den Meridian passirt und Rigel ist der Culmination nahe. Am südöstlichen Himmel ist Sirius leicht aufzufinden. Dem Zenith sehr nahe steht Capella im Sternbild des Fuhrmanns. Eine gerade Linie von Rigel über Beteigeuze führt zum Sternbild der Zwillinge, welches durch die beiden Sterne Castor und Pollux leicht kenntlich ist. Am nordöstlichen Himmel geht der große Löwe auf. Regulus steht schon ungefähr 20° über dem Horizont. Etwas westlich vom Nordpunkt ist Wega oben über dem Horizont sichtbar.

Unterhalb des Horizontes befinden sich um diese Zeit unter anderen die Sternbilder Jungfrau, Scorpion, Schütze, Adler, Delphin u. s. w.

In der bezeichneten Abendstunde hat in der Mitte Februar Sirius bereits culminirt und Orion steht westlich. Castor und Pollux in einer Höhe von etwa 70 Graden noch etwas östlich vom Meridian. Nach Nordnordwesten hin steht α des Schwans dem Horizont nahe. Am östlichen Himmel ist das Sternbild des Löwen jetzt ganz sichtbar, indem Denebola gerade nach Osten hin schon ungefähr 25° über dem Horizont steht. Am westlichen Himmel findet man das Sternbild des Widders ungefähr 30° über dem Horizont. Im Nordosten ist Arcturus im Sternbild des Bootes eben aufgegangen.

Mitte März, Abends 9 Uhr. Der Widder dem Untergang nahe: Stier und Orion am weſtlichen Himmel, Regulus der Culmination nahe. Im Oſten iſt Spica im Sternbild der Jungfrau bereits aufgegangen. Gerade nach Norden ſteht α des Schwans eben über dem Horizont.

Mitte April, Abends 9 Uhr. Orion und der Stier dem Untergang nahe; der große Löwe culminirt, und zwar hat Regulus den Meridian bereits paſſirt, Denebola ſteht noch öſtlich von demſelben. Zwiſchen Aldebaran und Regulus findet man das Sternbild der Zwillinge am weſtlichen Himmel ungefähr 40° über dem Horizont. Im Südoſten des Himmels ſteht das Sternbild der Jungfrau. Der große Bär ſteht faſt im Zenith. Sirius dem Untergange nahe.

Mitte Mai, Abends 9 Uhr. Nach Norden hin, etwas weſtlich vom Meridian und noch 20° über dem Horizont findet man das Sternbild der Caſſiopeia. Am nordöſtlichen Himmel iſt der Schwan bereits ganz aufgegangen, und Wega ſteht ſchon ziemlich hoch über dem Horizont. Etwas weniger hoch über dem Horizont ſteht Capella nach Nordweſten hin. Am weſtlichen Himmel findet man die Zwillinge und den kleinen Hund. Spica nähert ſich dem Meridian. Etwas weiter davon entfernt, aber höher, findet ſich Arcturus im Sternbild des Bootes.

Mitte Juni, Abends 9 Uhr. Arcturus hat den Meridian bereits paſſirt und ſteht ungefähr 60° über dem Horizont. Am weſtlichen Himmel iſt der große Löwe ſichtbar. Die Zwillinge ſind zum Theil ſchon untergegangen, aber Caſtor und Pollux noch ſichtbar. Am ſüdweſtlichen Himmel ſteht das Sternbild der Jungfrau. Am öſtlichen Himmel findet man den Delphin, den Adler, den Schwan und die Leyer. Am ſüdöſtlichen Himmel ſteht Antares im Sternbild des Scorpions.

Mitte Juli, Abends 9 Uhr. Antares hat bereits den Meridian paſſirt. Regulus iſt dem Untergange nahe. Spica ſteht am ſüdweſtlichen Himmel. Gerade nach Norden hin Capella faſt am Horizont. Hoch am öſtlichen Himmel ſtehen Delphin, Adler, Schwan und Leyer.

Mitte Auguſt, Abends 9 Uhr. Spica eben untergehend, der Scorpion 30° weſtlich vom Meridian nahe über dem Horizont. Bootes am weſtlichen Himmel. Wega culminirt, beinahe 80° über dem Horizont, etwas öſtlich davon ſteht der Schwan.

Mitte September, Abends 9 Uhr. Delphin und α des Schwans culminiren, am weſtlichen Himmel ſteht Arcturus dem Horizont nahe; am nordöſtlichen Himmel ſieht man Capella in geringer Höhe über dem Horizont.

Mitte October, Abends 9 Uhr. Am weſtlichen Himmel ſtehen Adler, Schwan und Leyer. Aldebaran und die Plejaden ſind im Oſten bereits aufgegangen.

Mitte November, Abends 9 Uhr. Gerade nach Norden hin ſteht der große Bär in ſeiner tiefſten Stellung. Caſſiopeia beginnt zu culminiren. Orion iſt im Oſten, und etwas mehr nach Norden hin ſind die Zwillinge aufgegangen. Außerdem ſtehen am öſtlichen Himmel der Fuhrmann, Perſeus, der

Stier, und mehr nach Süden hin der Wallfisch. α der Andromeda hat eben den Meridian passirt. Am westlichen Himmel Adler, Leyer, Schwan u. s. w.

Mitte December, Abends 9 Uhr. Am östlichen Himmel glänzen Orion, der Stier, die Zwillinge, der Fuhrmann mit der Capella. Im Süden steht der Wallfisch. Der Widder, ungefähr 60° über dem Horizont, hat bereits den Meridian passirt. Dem Zenith nahe stehen Perseus und Cassiopeia. Ersteres Sternbild ist der Culmination nahe, letzteres hat den Meridian bereits passirt. Am westlichen Himmel ist der Delphin dem Untergange nahe, mehr nach Norden hin steht die Leyer noch über dem Horizont und zwischen beiden etwas höher am Himmel der Schwan.

Die am oberen und unteren Rande der Karte Tab. IV. notirten Monatstage bezeichnen die Stelle des Himmels, welche an den genannten Tagen um Mitternacht culminirt. Verbindet man z. B. die Punkte des oberen und unteren Randes, welche dem 9. December entsprechen, durch eine gerade Linie, so geht diese durch den Stern β Orionis; Rigel culminirt also um Mitternacht am 9. December.

Ebenso ersieht man aus jener Karte, daß das Sternbild des Scorpions Ende Mai und Anfangs Juni um Mitternacht culminirt.

Höhe und Azimut. Um die Stellung eines Gestirns am Himmel 7
mit der Genauigkeit zu bestimmen, wie es astronomische Zwecke erfordern, genügt es nicht, seine Stellung in einem Sternbild anzugeben, es genügt z. B. nicht, zu sagen: der oder jener Stern steht im Kopfe des Drachen; der Mond befindet sich eben in der linken Schulter der Jungfrau u. s. w. Solche Angaben können nur dazu dienen, annähernd den Ort des Gestirns am Himmel zu bezeichnen; eine genaue Ortsbestimmung erfordert mathematische Hülfsmittel.

Um irgend einen Punkt am Himmel mit mathematischer Genauigkeit zu bestimmen, bedarf es vor allen Dingen eines passend gewählten Coordinatensystems, und zwar zeigt sich für astronomische Zwecke ein auf der Oberfläche der Himmelskugel angebrachtes System größter Kreise als das passendste.

Denken wir uns durch einen Stern E, Fig. 9, den Beobachtungsort M, und das Zenith Z desselben in eine Ebene gelegt, so schneidet diese die Himmelskugel in einem größten Kreise ZEH, welcher rechtwinklig auf dem Horizont steht.

Alle solche durch das Zenith gelegte, auf dem Horizont rechtwinklig stehende Kreise heißen Höhenkreise oder auch Verticalkreise.

Der Bogen EH vom Stern E bis zu dem Punkte H, in welchem sein Höhenkreis den Horizont trifft, heißt die Höhe des Sternes, der Bogen EZ aber vom Stern zum Zenith heißt die Zenithdistanz.

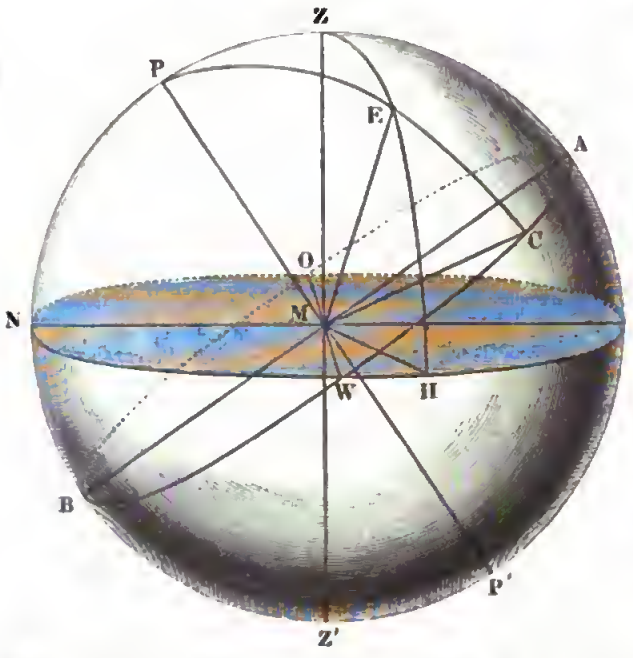
Höhe und Zenithdistanz eines Sternes ergänzen sich zu 90°. Ist also die Höhe eines Sternes 60°, so ist seine Zenithdistanz 30°.

Der Bogen SH vom Südpunkte S des Horizonts bis zum Punkt H, in welchem der Höhenkreis des Sternes E den Horizont trifft, heißt das Azimut des Sternes E; das Azimut eines Sternes kann also auch als der Winkel definirt werden, welchen sein Höhenkreis mit der Ebene des Meridians macht.

Das Azimut wird vom Südpunkte S nach Westen hin gezählt. Das Azi-

mut 90° entſpricht alſo dem Weſtpunkt. Für den Oſtpunkt des Horizontes iſt das Azimut 270°. Ein Höhenkreis, deſſen Azimut 315° iſt, liegt 45° öſtlich vom Meridian, er trifft alſo gerade nach Südoſten hin den Horizont.

Fig. 9.



Durch Höhe und Azimut iſt die Stellung eines Sternes vollkommen beſtimmt. Eine ſolche Beſtimmung gilt jedoch immer nur für einen gegebenen Zeitmoment; denn in Folge der täglichen Bewegung des Himmels ändert ſich ſowohl Höhe als auch Azimut eines Geſtirns in jedem Augenblick.

Um Höhe und Azimut eines Geſtirns für einen gegebenen Augenblick ermitteln zu können, iſt vor allen Dingen nöthig, daß die Mittagslinie des Beobachtungsortes mit Genauigkeit beſtimmt ſei, weil ſie ja den Ausgangspunkt zur Meſſung der Azimute bildet.

8 **Beſtimmung des Meridians.** Denkt man ſich durch das Auge des Beobachters und ein Geſtirn, welches eben culminirt, eine Verticalebene gelegt, ſo iſt dies der Meridian.

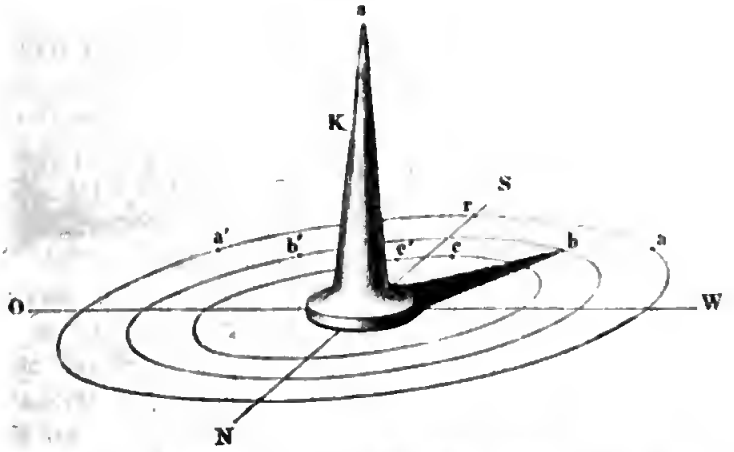
In dem Moment, in welchem die Sonne ihre größte Höhe erreicht, iſt der Schatten, welchen ein verticaler Stab auf eine horizontale Ebene wirft, am kürzeſten. Um alſo die Mittagslinie zu beſtimmen, hat man nur für den Augenblick, in welchem die Länge des Stabſchattens ein Minimum geworden iſt, durch das Ende deſſelben eine gerade Linie nach dem Mittelpunkt des Stabes zu ziehen, ſo iſt dies die Mittagslinie.

Nun aber ändert ſich um die Mittagszeit die Länge des Schattens ſo langſam, daß man nicht erwarten kann, nach der angegebenen Methode die Richtung der Mittagslinie mit einiger Genauigkeit zu beſtimmen. Genauer findet man ſie auf folgende Weiſe:

Auf einer horizontalen Ebene (etwa der wagerecht geſtellten Ebene eines Meßtiſchblattes) ziehe man eine Reihe concentriſcher Kreiſe und ſtelle dann einen ſpitzigen Kegel K von Holz oder Meſſing ſo auf, daß der Mittelpunkt ſeiner Grundfläche mit dem Mittelpunkte der gezogenen Kreiſe zuſammenfällt. Dieſer Kegel wirft nun einen Schatten. Zu einer beſtimmten Zeit des Vormittags

wird die Spitze des Schattens gerade auf den äußersten Kreis fallen, und man bezeichnet nun den Punkt a, wo dies stattfindet. Je mehr die Sonne steigt, desto kürzer wird der Schatten, und so wird denn nach und nach die Spitze des Schattens den zweiten, den dritten u. s. w. Kreis treffen, und man be-

Fig. 10.



zeichnet jedesmal die Punkte b, c u. s. w., wo dies der Fall ist. In gleicher Weise bezeichnet man auch des Nachmittags die Punkte c' b' a', in welchen die Spitze des Stabschattens dieselben Kreise trifft. Halbirt man nun den Bogen aa' zieht man von dem Halbirungspunkte r eine Linie nach dem Mittelpunkte der Kreise, so ist dies die Mittagslinie, welche in unserer Figur durch NS bezeichnet ist. In gleicher Weise erhält man sie durch Halbirung des Bogens bb' und des Bogens cc'.

Wären alle Beobachtungen und Halbirungen fehlerlos, so müßten die so bestimmten Mittagslinien genau zusammenfallen. Ist dies nicht der Fall, so nimmt man eine zwischen diesen liegende mittlere Richtung als Mittagslinie an.

Eine solche Vorrichtung, wie überhaupt jede, welche dazu dient, um durch den Schatten irgend eines Körpers die Mittagslinie zu bestimmen oder Sonnenhöhen zu messen, wird ein Gnomon genannt. Ist einmal für einen Gnomon die Mittagslinie bestimmt, so erhält man durch diese Vorrichtung leicht Höhe und Azimut der Sonne für einen gegebenen Moment. Bezeichnen wir nämlich den Mittelpunkt der Kreise durch M, so ist der Winkel bMr das Azimut, der Winkel bsM ist die Zenithdistanz, der Winkel sbM ist die Höhe der Sonne in dem Moment, in welchem der Schatten der Spitze s nach b fällt.

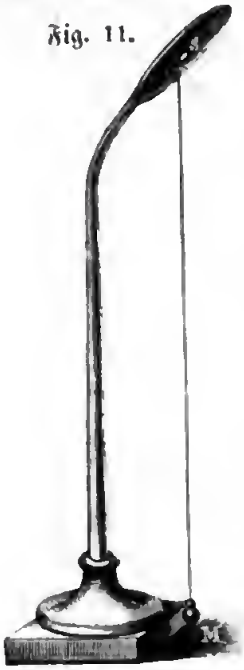
Der Augenblick, in welchem die Spitze des Stabschattens gerade auf die Mittagslinie fällt, ist der wahre Mittag.

Wenn ein Gnomon die Sonnenhöhe mit einiger Genauigkeit geben soll, so muß er bedeutende Dimensionen haben, und in der That wandten auch die alten Aegyptier die Obelisken an, eine Sonnenhöhe zu bestimmen; allein mit der größeren Höhe des schattenwerfenden Körpers wird auch der Schatten der Spitze verwaschener, und dies ist dann eine neue Fehlerquelle.

Um den letzteren Uebelstand zu vermeiden, bringt man an der höchsten

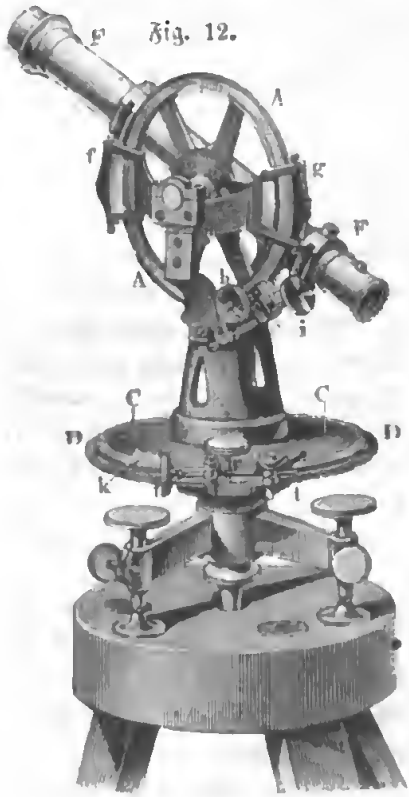
Spitze des Gnomons eine mit einer kleinen Oeffnung verſehene Metallplatte an. Eine derartige Vorrichtung iſt in Fig. 11 dargeſtellt. Die Scheibe wirft einen Schatten, in deſſen Mitte ein rundes, helles Fleckchen erſcheint, welches durch die Oeffnung *s* hindurch vom Sonnenlicht beſchienen wird. Die Mitte dieſes erleuchteten Fleckchens, welche ſich mit ziemlicher Genauigkeit ermitteln läßt, entſpricht der Spitze des Stabſchattens in Fig. 10. Ein von der Oeffnung *s* herabhängendes Bleiloth bezeichnet den Punkt *M* auf der horizontalen Ebene, welcher gerade ſenkrecht unter *s* liegt. Die Länge *Ms* entſpricht dann der Länge des verticalen Stabes, welcher den gewöhnlichen Gnomon bildet.

Fig. 11.



Auch nach dieſem Princip hat man Gnomone im großen Maßſtab ausgeführt, indem man die durchbohrte Metallplatte in der Wand oder in der Decke eines großen, innen freien Gebäudes, etwa einer Kirche, anbrachte und das Bild der Sonne auf den gegenüberliegenden Fußboden fallen ließ. Einen ſolchen Gnomon errichtete Paul Toſcanelli im Jahre 1467 in der Kuppel des Domes zu Florenz. Die Oeffnung war 277 Fuß über dem Fußboden der Kirche angebracht.

Fig. 12.



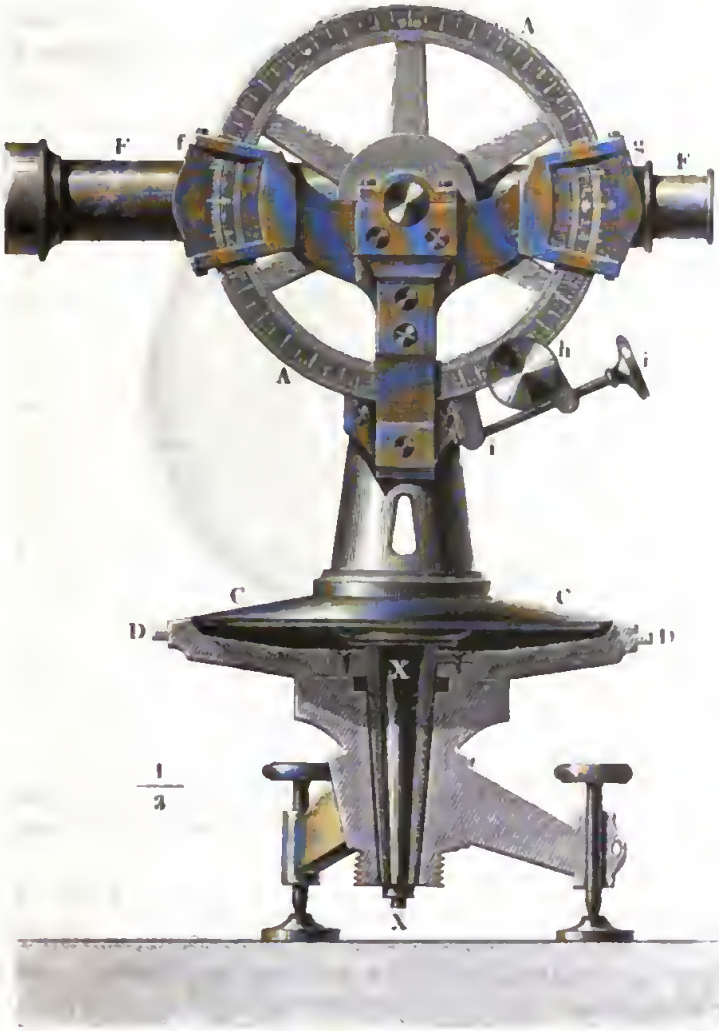
In älteren Sternwarten findet man noch ſolche Gnomone, in neueren Zeiten hat man ſie verlaſſen, weil man jetzt weit genauere Mittel hat, die Richtung der Mittagslinie zu beſtimmen und Sonnenhöhen zu meſſen.

9

Das Theodolit. Ein ungleich genaueres Mittel, ſowohl Höhe und Azimut zu meſſen, als auch den Meridian zu beſtimmen, bietet das Theodolit dar. Ein ſolches Inſtrument iſt in Fig. 12 perſpectiviſch und in Fig. 12 a in größerem Maßſtab in geometriſchem Aufriß dargeſtellt; es beſteht im Weſentlichen aus zwei getheilten Kreiſen, von denen der eine vertical, der andere horizontal iſt. Der Verticalkreis *A* iſt ſammt dem Fernrohr *F* an einer horizontalen Axe befeſtigt und beide ſind um dieſe Axe drehbar, ſo daß die gegenſeitige Stellung des getheilten Verticalkreiſes und des Fern-

rohrs nicht geändert werden kann. Zu beiden Seiten des drehbaren Kreises sind feste Nonien *f* und *g* angebracht. Wenn das Instrument gehörig aufgestellt und justirt ist, sollen die Nullpunkte der Nonien *g* und *f* auf die Punkte 0 und 180 der Theilung zeigen, sobald die Axe des Fernrohrs vollkommen wagerecht steht; dreht

Fig. 12 a.



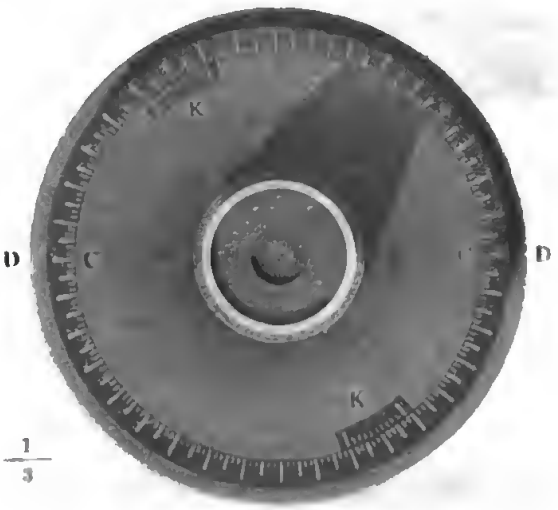
man dann das Fernrohr aus seiner horizontalen Richtung heraus, um es auf einen höher oder tiefer gelegenen Punkt zu richten, so muß man die Größe dieser Drehung an den Nonien ablesen.

Die Stellschraube *h* dient, um bei jeder beliebigen Neigung des Fernrohrs dieses sammt dem Vertiealkreis festzustellen. Die Mikrometerschraube *i* dient, um feinere Verstellungen des Fernrohrs in seiner verticalen Umdrehungsebene zu bewirken.

Das Gestell, welches die horizontale Axe des Fernrohrs trägt, ist auf einem horizontalen um den vertiealen Zapfen *X* drehbaren Kreise *C* befestigt,

welcher der Alhidadenkreis oder die Alhidade genannt wird. Dieſer Kreis dreht ſich genau paſſend innerhalb eines mit dem Fußgeſtell des ganzen Apparates feſt verbundenen, ringsum mit einer Gradtheilung verſehenen kreisförmigen Ringes *D*, welcher der Limbus genannt wird. Die Alhidade trägt an ihrem äußeren Rande zwei Nonien *K*, welche ſich bei der Drehung der Alhidade längs der Theilung des Limbus hinbewegen und welche man deutlicher in Fig. 13 ſieht, welche die Alhidade und den Limbus von oben geſehen darſtellt,

Fig. 13.



jedoch mit Weglaſſung der Stellſchraube *r*, mittelſt der man die Alhidade an den Limbus anklemmen, und der Mikrometerſchraube *t*, mittelſt deren man eine feinere Verſchiebung der Alhidade bewerkſtelligen kann.

Um den Limbus und die Alhidade gehörig wagerecht zu ſtellen, was man an einer in der Mitte der Alhidade angebrachten Doſenlibelle erkennen kann, dienen die drei Fußſchrauben (in Fig. 12 ſind nur zwei ſichtbar), welche das ganze Inſtrument tragen.

Bemerken wir noch, daß die Theodolitfernrohre ſtets aſtronomiſche Fernrohre ſind (Lehrb. der Phyſik, Bd. I., S. 491), daß ſie alſo alle Gegenſtände verkehrt zeigen und daß ſie mit einem Fadenkreuz verſehen ſind. An der Stelle nämlich, an welcher das Bild des Objectives zu Stande kommt, iſt eine in der Mitte mit einer runden Oeffnung verſehenen Metallſcheibe angebracht;

Fig. 14.

über dieſe Oeffnung ſind dann zwei ſehr feine Fäden (in der Regel Spinnenfäden) ſich rechtwinklig kreuzend ausgeſpannt, Fig. 14. Will man einen beſtimmten Gegenſtand, etwa einen Stern, viſiren, ſo richtet man das Fernrohr ſo, daß das Bild des zu beobachtenden Gegenſtandes genau in den Durchſchnittspunkt der

Fäden fällt. Man sieht, daß auf diese Weise die Visirlinie des Fernrohrs vollkommen genau bestimmt ist.

Will man durch das Theodolitfernrohr die Sonne beobachten, so muß man vor dem Ocular ein dunkelfarbiges Glas, das Sonnenglas, anbringen, weil das Auge ohne ein solches den Glanz des Sonnenlichtes nicht ertragen würde.

Bestimmung der Mittagslinie mit Hülfe des Theodolits. 10) Um nun mit Hülfe des Theodolits die Mittagslinie zu bestimmen, verfährt man in folgender Weise: Man richtet das Fernrohr des Instrumentes einige Zeit, n Stunden, vor der Culmination der Sonne so, daß der Gipfel des Sonnenrandes genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Der Höhenkreis und der Horizontalkreis werden nun mittelst der Stellschrauben h und r festgestellt und dann der Nonius des Horizontalkreises abgelesen. Durch diese Ablesung ist die Lage der Verticalebene des Fernrohrs für den Moment dieser ersten Beobachtung vollkommen bestimmt.

Die Sonne schreitet nun nach Westen vor, während zugleich ihre Höhe bis zur Culmination zunimmt. Nach der Culmination nimmt die Höhe der Sonne wieder ab, n Stunden nach ihrer Culmination wird die Sonne wieder genau dieselbe Höhe haben, wie zur Zeit der ersten Beobachtung. Wenn man also den Höhenkreis und das Fernrohr unverändert in der Stellung gegen den Horizont läßt, die sie bei der ersten Beobachtung einnahmen, so wird man, wenn nahezu die Zeit von n Stunden nach der Sonnenculmination verflossen ist, die Sonne wieder im Gesichtsfelde des Fernrohrs finden, wenn man die Alhidade sammt Höhenkreis und Fernrohr um die verticale Axe des Instrumentes nach Westen dreht. Zunächst wird nun der Gipfel des Sonnenrandes wieder genau hinter den verticalen Faden des Fadenkreuzes gebracht und dann folgt man der Sonne, indem man den Horizontalkreis langsam und zwar zuletzt mit Hülfe der Mikrometerschraube t gegen Westen fortschiebt, bis zu dem Moment, in welchem die Sonne so tief gesunken ist, daß der horizontale Faden wieder den Sonnenrand tangirt, der Gipfel des Sonnenrandes also wieder genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Man liest nun abermals den Nonius des Alhidadenkreises ab und erfährt durch diese zweite Ablesung den Winkel, welchen die Verticalebene des Fernrohrs bei der ersten Beobachtung mit der Verticalebene des Fernrohrs bei der zweiten Beobachtung macht. Halbirt man diesen Winkel, so ist dann eine durch die Halbirungslinie gelegte Verticalebene die Ebene des Meridians.

Hat z. B. der Nonius des Alhidadenkreises bei der Morgensbeobachtung auf 152° gestanden, bei der Nachmittagsbeobachtung aber auf 226°, so wird sich die Ebene des Fernrohrs und des Höhenkreises im Meridian befinden, wenn man den Alhidadenkreis so stellt, daß der Nonius desselben auf 189° zu stehen kommt.

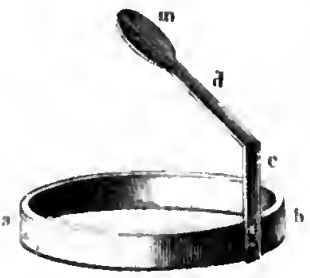
Wegen der von der täglichen Bewegung unabhängigen Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe (die wir im dritten Capitel näher besprechen werden) giebt diese Bestimmungsweise des Meridians mittelst correspondirender

Sonnenhöhen nur dann genaue Reſultate, wenn man die Beobachtung um die Zeit der längſten oder der kürzeſten Tage anſtellt. Am fehlerhafteſten wird das Reſultat zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen. Von dieſem Uebelſtande iſt nun die Beſtimmung des Meridians durch correſpondirende Sternhöhen ganz frei. Das Verfahren iſt genau daſſelbe, wie wir es für die Sonne kennen gelernt haben; nur ſtellt man nicht auf den Gipfel des Sonnenrandes, ſondern auf den zu beobachtenden Stern ein.

Es iſt leicht, zur Nachtzeit irgend einen Stern erſter, zweiter oder auch dritter Größe in das Geſichtsfeld des Fernrohrs zu bringen; zur Nachtzeit aber iſt das Fadenkreuz, welches bei Tage ſcharf vor dem hellen Hintergrunde erſcheint, ganz unſichtbar, wenn man es nicht auf künſtliche Weiſe erleuchtet.

Zur Beleuchtung des Fadenkreuzes in Theodolitfernrohren dürfte wohl folgende Methode die geeignetſte ſein: Auf das Objectivende des Fernrohrs wird ein leichter Meſſingring ab, Fig. 15, aufgeſchoben; an dieſem iſt ein Meſſingſtäbchen cd befeſtigt, welches gerade der Mitte des Ringes ab gegenüber ein elliptiſches Metallblättchen m trägt. Dieſes Metallblättchen iſt auf der dem Ringe ab zugewandten Seite weiß angeſtrichen. Durch eine in der Nähe ſeitlich aufgeſtellte Kerzenflamme wird dieſe kleine weiße Fläche erhellt und wirft dann hinlänglich Licht in das Fernrohr, um das Fadenkreuz zu erleuchten, welches nun hell auf dunklem Grunde erſcheint. Von dem Sterne fallen nun noch hinlänglich viel Strahlen neben dem Blättchen m vorbei auf das Objectiv des Fernrohrs, um ein deutliches Bild des Sternes zu geben.

Fig. 15.



Auch correſpondirende Höhen von Circumpolarſternen in der Nähe ihrer unteren Culmination kann man zur Beſtimmung des Meridians anwenden.

Hat man einmal nach der angegebenen Methode den Punkt des Limbus ermittelt, auf welchen man den Nonius der Alhidade einſtellen muß, damit die verticale Drehungsebene des Fernrohrs mit der Ebene des Meridians zuſammenfällt, ſo bleibt noch übrig, die Richtung der Mittagslinie ein- für allemal zu fixiren, damit man das Inſtrument wieder wegnehmen kann, ohne bei einer ſpäteren Aufſtellung an derſelben Stelle den Meridian von Neuem beſtimmen zu müſſen.

Die Fixirung der Mittagslinie geſchieht dadurch, daß man das in die Ebene des Meridians gebrachte Fernrohr gegen den Horizont neigt und nun ſieht, ob ſich auf demſelben oder auf der Erdoberfläche nicht irgend ein Gegenſtand, etwa eine Thurmſpitze, eine Mauerkante, eine Giebelſpitze, ein Blitzableiter u. ſ. w., findet, welcher gerade im Meridian liegt, welcher alſo den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes paſſirt, wenn man das Fernrohr um ſeine horizontale Axe dreht. Ein ſolcher Punkt wird nun das Meridianzeichen genannt. Eine verticale Ebene, welche durch den Aufſtellungsort des Inſtrumentes und das Meridianzeichen geht, iſt die Ebene des Meridians.

Wenn ſich kein paſſendes Meridianzeichen vorfindet, ſo muß man ein ſolches herrichten, indem man etwa einen verticalen Strich an der Wand eines paſſend gelegenen Hauſes zieht. Das zweckmäßigſte Meridianzeichen iſt aber immer ein ungefähr 3 Fuß langer, in halbe Zolle (oder nach Umſtänden noch in kleinere Theile) getheilter Maßſtab, welchen man in horizontaler Lage und in entſprechender Entfernung ſo befeſtigt, daß die Meridianebene des Inſtrumentes ſeine Länge ungefähr halbirt. Iſt dieſer Maßſtab einmal gehörig befeſtigt, ſo kann man durch ſpäter wiederholte Beſtimmungen der Meridianebene leicht ermitteln, welcher Theilſtrich deſſelben es eigentlich ſei, der genau die Richtung der Mittagslinie bezeichnet.

Theodolit mit gebrochenem Fernrohr. Das Theodolit, welches 11
wir in §. 9 kennen lernten, iſt ein ſolches von möglichſt einfacher Conſtruction, wie man ſie mehr zu geodätiſchen Meſſungen als zu aſtronomiſchen Beobachtungen anwendet. Zu letzterem Zwecke wendet man wo möglich größere Kreiſe an. Durch das Fernrohr des Theodolits Fig. 12 kann man Sterne, deren Höhe 45 bis 50° beträgt, nur mit Mühe, ſolche aber, die ſich in der Nähe des Zenith befinden, gar nicht beobachten. Da nun die Beobachtung gerade dieſer Sterne in manchen Fällen von großer Wichtigkeit iſt, ſo hat man das gerade Fernrohr mit einem gebrochenen vertauſcht.

Fig. 16.

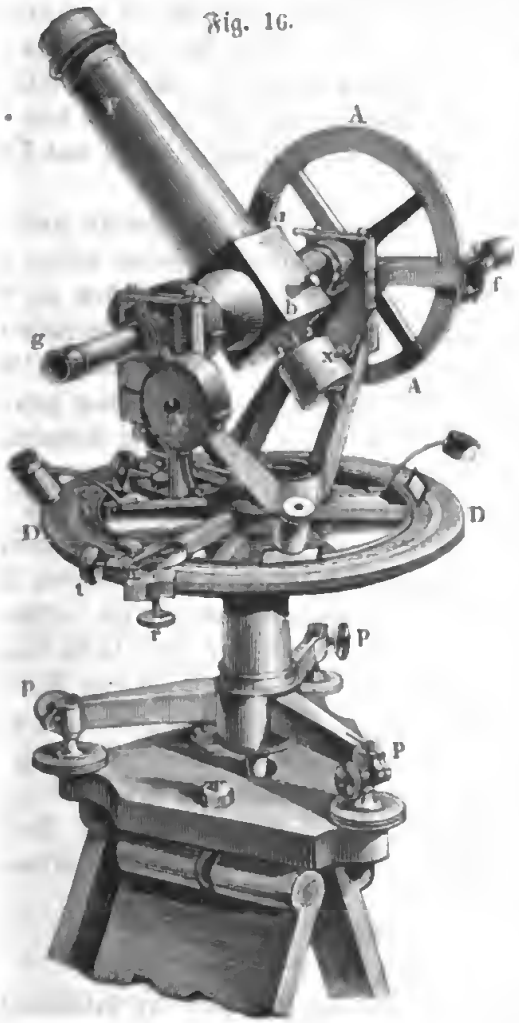


Fig. 16 ſtellt ein etwas größeres Theodolit mit gebrochenem Fernrohr dar. Alle Theile dieſes Inſtrumentes, welche auch an dem Theodolit Fig. 12 vorkommen, ſind mit den gleichen Buchſtaben bezeichnet. So iſt *A* der Höhenkreis, *F* das Fernrohr, *f* der eine Nonius des Höhenkreiſes. *C* iſt der Alhidadenkreis, welcher hier in der Mitte durchbrochen iſt; *D* iſt der Limbus. Die Alhidade iſt hier mit 4 Nonien verſehen. Ueber jedem dieſer Nonien iſt ein kleiner Schirm von durchſcheinendem Papiere angebracht, was eine beſſere Beobachtung des

Nonius bewirkt. Die Nonien werden nicht mit bloßem Auge, ſondern durch Loupen abgeleſen.

Die Einrichtung des gebrochenen Fernrohrs iſt folgende: Das Ocularende g des Rohres macht einen rechten Winkel mit dem Objectivende F. Beide Enden ſitzen auf einem würfelförmigen hohlen Körper, in deſſen Innern ſich ein Spiegel befindet, welcher ſowohl gegen die Axe des Objectivendes als auch gegen die Axe des Ocularendes um 45° geneigt iſt. Dieſer Spiegel wird durch ein rechtwinkliges, gleichſchenkliges Glasprisma gebildet, deſſen eine Katheten-fläche gegen das Objectiv, die andere gegen das Ocular gerichtet iſt, während die Hypothenuſenfläche die Richtung der Diagonalen ab hat. Die vom Objectiv kommenden Strahlen treten an der Vorderfläche dieſes Prismas ein, ohne eine merkliche Ablenkung zu erfahren; an der 45° gegen die Axe des Objectivs geneigten Hinterfläche erleiden ſie eine totale Reflexion (Lehrb. d. Phyſ. Bd. I. S. 398) und gelangen ſo, nachdem ſie an der zweiten Kathetenfläche faſt ohne Ablenkung ausgetreten ſind, zu dem Ocular. Das Ocularende des Fernrohrs bildet nun ſelbſt ein Stück der horizontalen Umdrehungsaxe des Höhenkreiſes, man mag alſo das Objectivende des Fernrohrs um dieſe Axe drehen, wie man will, ſo bleibt doch die Stellung des Oculars ungeändert; man kann alſo mit gleicher Bequemlichkeit alle Sterne beobachten, welches auch ihre Höhe ſein mag.

Die Metallmaſſen x und y dienen nur als Gegengewicht für das Objectivende des Fernrohrs.

Mit einem ſolchen Inſtrumente kann man nun die Mittagslinie noch weit genauer beſtimmen, als es nach der Methode der correſpondirenden Höhen möglich iſt. Das Inſtrument wird an einem Orte aufgeſtellt, an welchem die Ausſicht nach Norden hin bis nahe zum Zenith frei iſt. Der Azimutalkreis wird dann ſo eingeſtellt, daß die Verticalebene des Fernrohrs nahezu mit dem Meridian zuſammenfällt, und nun beobachtet man an einer gleichförmig gehenden Uhr die Zeiten der auf einander folgenden oberen und unteren Culmination eines Circumpolarſternes, d. h. die Zeit, in welcher der Stern in ſeiner größten Höhe den verticalen Faden des Fadenkreuzes paſſirt, und dann wieder den Zeitpunkt, in welchem derſelbe Stern in ſeiner tiefſten Stellung das Fadenkreuz paſſirt. Wenn die verticale Drehungsebene des Fernrohrs genau in den Meridian fällt, ſo muß die von einem Beobachtungsmoment zum anderen verſtrichene Zeit genau 12 Sternſtunden betragen. Iſt dies nicht der Fall, ſo iſt dies ein Beweis, daß die Verticale des Fernrohrs noch einen Winkel mit dem Meridian macht. Beträgt die Zeit von der oberen bis zur unteren Culmination weniger als 12 Sternſtunden, ſo muß die Alhidade ein wenig in der Richtung von Weſt nach Nord gedreht werden, um die Drehungsebene des Fernrohrs in den Meridian zu bringen; nach der entgegengeſetzten Seite aber, wenn die Zeit von der oberen bis zur unteren Culmination mehr als 12 Sternſtunden beträgt.

Hätte man z. B. beobachtet

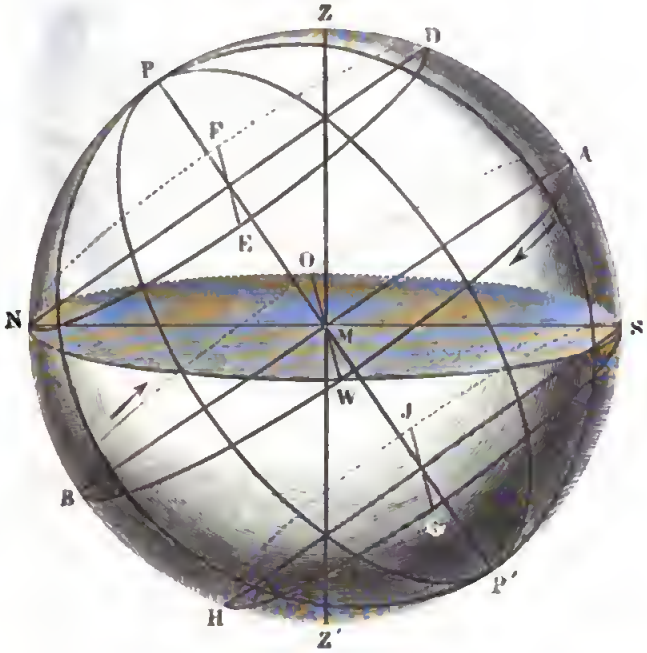
die obere Culmination des Polarſterns $0^h\ 58'\ 20''$,
die untere » » » $12\ 58\ 50$,

ſo würde man aus dieſen Beobachtungen ſchließen, daß man den Azimutalkreis

um einen ganz kleinen Winkel (den man auch berechnen kann) in der Richtung von Ost nach Nord hin drehen müsse, um die verticale Drehungsebene des Fernrohrs in den Meridian zu bringen.

Declination, Stundenwinkel und Rectascension. Alle durch 12
die Weltaxe PP', Fig. 17, gelegten Ebenen schneiden die Himmelskugel in größten Kreisen, welche den Namen der Declinationskreise oder der Stundenkreise führen. Durch jeden Stern kann man sich einen Stunden-

Fig. 17.



kreis gelegt denken und alle diese Stundenkreise stehen rechtwinklig auf der Ebene des Aequators.

Der Viertelkreis PEC, Fig. 9, ist ein Theil des dem Sterne E angehörigen Stundenkreises. Dasjenige Bogenstück EC des Stundenkreises, welches zwischen dem Sterne und dem Aequator liegt, heißt die Declination oder die Abweichung des Sternes.

Die Declination eines Sternes ist nördlich oder südlich, je nachdem derselbe auf der nördlichen oder südlichen Halbkugel des Himmels liegt.

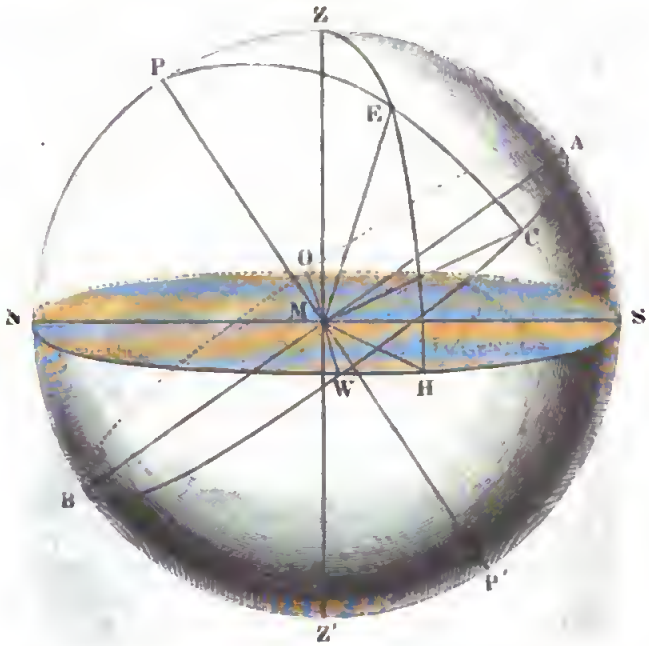
Der Bogen PE vom Sterne bis zum Pol heißt die Poldistanz. Poldistanz und Abweichung ergänzen sich zu 90°.

Während der täglichen Bewegung des Himmels ändert sich die Declination der Gestirne nicht; die Abweichung eines Fixsternes ist also eine unveränderliche Größe, weil ja jeder Stern einen Kreis beschreibt, welcher mit dem Aequator parallel ist.

Alle solche Kreise, welche man sich auf der Himmelskugel parallel mit dem Aequator gezogen denkt, werden Parallelkreise genannt.

Der Winkel, welchen der Stundenkreis PEC des Sternes E mit dem Meridian PZA, Fig. 18, macht, wird der Stundenwinkel des Sternes E

Fig. 18.



genannt. Der Stundenwinkel wird durch den Bogen AC auf dem Aequator gemeſſen, deſſen ganzer Umfang entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden und deren Unterabtheilungen getheilt iſt, alſo auch

60 Zeitminuten = 15°
4 » = 1°
1 Zeitminute = 15 Bogenminuten
1 Zeitſecunde = 15 Bogenſecunden.

Die Zählung geſchieht ſtets von dem Punkte A aus, in welchem der Meridian den Aequator ſchneidet, nach Weſten hin.

Der in Zeit ausgedrückte Stundenwinkel eines Sternes, welcher ſich immer nur auf einen beſtimmten Moment bezieht, ſagt aus, wie viel Stunden und Minuten (Sternzeit) bereits ſeit der letzten Culmination dieſes Sternes verfloſſen ſind.

Es iſt klar, daß durch Stundenwinkel und Abweichung (Declination) für einen beſtimmten Moment die Stellung eines Sternes am Himmelsgewölbe ganz in ähnlicher Weiſe beſtimmt iſt, wie durch Azimut und Höhe; während aber Höhe und Azimut eines Sternes ſich gleichzeitig ändern, bleibt die Declination conſtant und nur der Stundenwinkel ändert ſich, weil in jedem Augenblicke ein anderer Punkt des Aequators es iſt, von welchem aus der Stundenwinkel gezählt wird.

Eine von der Zeit unabhängige Beſtimmung der Sternörter am Himmel erhält man, wenn man die Winkel auf dem Aequator nicht von einem ver-

änderlichen Punkte aus zählt, sondern von einem Punkte, welcher eine feste Stellung auf dem Aequator, also mit der ganzen Himmelskugel die tägliche Bewegung gemeinschaftlich hat. Zum Ausgangspunkte dieser Winkelzählung hat man den schon Seite 11 erwähnten Frühlingspunkt gewählt. Wir werden im dritten Capitel sehen, auf welche Weise dieser Punkt genau bestimmt werden kann.

Der in der Richtung von Süd nach Ost u. s. w. auf dem Aequator gezählte Winkel vom Frühlingspunkte bis zu dem Punkte, in welchem der Stundenkreis eines Sternes den Aequator trifft, wird die Rectascension oder die gerade Aufsteigung des Sternes genannt. Durch Rectascension und Declination ist die Stelle eines Sternes am Himmel vollkommen bestimmt.

Die Rectascension wird entweder in Graden oder in Stunden und Minuten ausgedrückt, wie wir dies schon beim Stundenwinkel gesehen haben. Die in Zeit ausgedrückte Rectascension eines Sternes giebt an, wie viel Stunden und Minuten (Sternzeit) der fragliche Stern später culminirt als der Frühlingspunkt.

Folgendes ist die Rectascension (gerade Aufsteigung) und die Declination (Abweichung) einiger der ausgezeichnetsten Sterne.

Namen.	Gerade Aufsteigung.			Abweichung.		
α Andromedae	0h	1′	—″	+ 28°	17′	—″
α Arietis	1	59	—	+ 22	46	—
α Ceti	2	55	42	+ 3	31	3
α Persei	3	14	—	+ 49	20	—
α Tauri (Aldebaran)	4	28	36	+ 16	12	49
α Aurigae (Capella)	5	6	59	+ 45	50	42
β Orionis	5	7	34	— 8	22	23
β Tauri	5	17	8	+ 28	28	47
α Orionis	5	47	19	+ 7	22	32
α Canis majoris (Sirius) . . .	6	38	45	— 16	31	16
α Geminorum	7	25	20	+ 32	12	6
α Canis minoris (Procyon) .	7	31	42	+ 5	35	32
β Geminorum	7	36	26	+ 28	22	19
α Hydrae	9	20	28	— 8	1	58
α Leonis (Regulus)	10	—	39	+ 12	40	26
α Ursae majoris	10	54	44	+ 62	31	57
β Leonis	11	41	39	+ 15	22	57
β Virginis	11	43	8	+ 2	34	52

Namen.	Gerade Aufſteigung.			Abweichung.		
γ Ursae majoris	11	46	11	+ 54	30	2
α Virginis (Spica)	13	17	33	— 10	24	13
α Bootis (Arcturus)	14	9	3	+ 19	56	21
α Librae	14	42	40	— 15	23	30
α Coronae	15	28	33	+ 27	12	19
α Scorpii (Antares)	16	20	31	— 26	6	23
α Lyrae (Wega)	18	32	2	+ 38	39	3
α Aquilae (Atair)	19	43	42	+ 8	29	18
α Cygni	20	36	29	+ 44	45	49
α Piscis australis	22	49	38	— 30	23	28
α Ursae minoris (Polaris) . .	1	6	30	+ 88	32	11

Das Zeichen + bezeichnet eine nördliche, — eine ſüdliche Declination.

Auf Himmelsgloben findet man in der That den Aequator entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden ($1^h = 15^0$) und Minuten getheilt. Der Nullpunkt dieſer Theilung iſt der Frühlingspunkt. Der durch den Frühlingspunkt gezogene Stundenkreis iſt dann gleichfalls in Grade getheilt, ſo daß 90 Grade auf den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum Nordpol und 90 Grade auf den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum Südpol gezählt ſind. Auf dieſem Stundenkreiſe kann dann die Declination für jeden einzelnen Parallelkreis abgeleſen werden.

In der Sternkarte Tab. IV. erſcheint der Aequator als gerade Linie; man ſieht ihn hier in 360 Grade getheilt. Die entſprechende Theilung in Stunden und Minuten findet ſich am unteren Rande der Karte. Auf der, durch den Nullpunkt der Theilung des Aequators (den Frühlingspunkt) gelegten Verticalen findet man dann eine weitere Theilung, durch welche die Declinationen gemeſſen werden.

Auf der Karte Tab. III. kann man die Rectaſcenſionen am Rande, die Declinationen auf der vom Nordpol nach dem Nullpunkte der Theilung am Rande gezogenen geraden Linie ableſen.

Nach dieſen Erläuterungen wird es eine zweckmäßige Uebung ſein, nach den in der obigen Tabelle mitgetheilten Werthen der geraden Aufſteigung und der Abweichung die dort verzeichneten Sterne aufzuſuchen.

Es ſei z. B. auf Tab. IV. α leonis aufzuſuchen. Seine Rectaſcenſion iſt 10^h (die Secunden müſſen bei der Kleinheit der Karte unberückſichtigt bleiben) oder 150^0; man geht alſo vom Frühlingspunkt aus auf dem Aequator nach der Linken bis zu dem mit 150 bezeichneten Punkte, errichtet in demſelben ein Perpendikel, auf welchem man dann mit dem Zirkel die Declina-

tion von $12^3/_4$ Grad nach Norden abzumessen hat, um den Ort des Regulus zu finden.

Mittagsrohr und Mittagskreis. Wir müssen nun sehen, auf welche 13
Weise Rectascension und Declination der Gestirne mit Genauigkeit ermittelt werden kann.

Wenn ein Theodolit so aufgestellt ist, daß die verticale Ebene, in welcher sich das Fernrohr drehen kann, genau in die Ebene des Meridians fällt, so kann man an diesem Instrumente mit Hülfe einer guten Uhr genau den Zeitpunkt beobachten, an welchem irgend ein bestimmter Fixstern den Meridian passirt.

Man kann eine solche Beobachtung selbst bei Tage machen; denn obgleich man, während die Sonne am Himmel ist, die Sterne mit bloßem Auge nicht sieht, so sind doch durch ein Fernrohr bei Tage Sterne erster, zweiter, ja selbst dritter Größe sichtbar.

Hat man nun an einem Tage die Culmination zweier Sterne beobachtet, so ist die Zeit (nach Sternzeit gemessen), welche zwischen der Culmination des ersten und der des zweiten verstreicht, die in Zeit ausgedrückte Differenz der Rectascensionen beider Sterne.

Hätte man z. B. an einem bestimmten Tage die Culmination von α arietis an einer nach mittlerer Sonnenzeit gehenden Uhr um $4^h\ 30'\ 18''$ Nachmittags beobachtet, die Culmination von α tauri aber um $6^h\ 58'\ 28''$, so ist der fragliche Zeitunterschied $2^h\ 28'\ 10''$ mittlerer Sonnenzeit oder $2^h\ 28'\ 35''$ Sternzeit. Die Rectascension von α tauri wäre demnach $2^h\ 28'\ 35''$ oder als Winkel ausgedrückt $37^0\ 9'\ 45''$ größer als die Rectascension von α arietis, d. h. mit anderen Worten, der Stundenkreis von α arietis macht mit dem Stundenkreise von α tauri einen Winkel von $37^0\ 9'\ 45''$.

Ist also nur für einen einzigen Stern die Rectascension, d. h. der Abstand seines Stundenkreises vom Frühlingspunkte bekannt, so kann man, von diesem Sterne ausgehend, nach der eben angegebenen Weise leicht die Rectascension aller übrigen Sterne ermitteln. Auf welche Weise aber der Abstand irgend eines Stundenkreises vom Frühlingspunkte bestimmt wird, das kann erst im dritten Capitel besprochen werden.

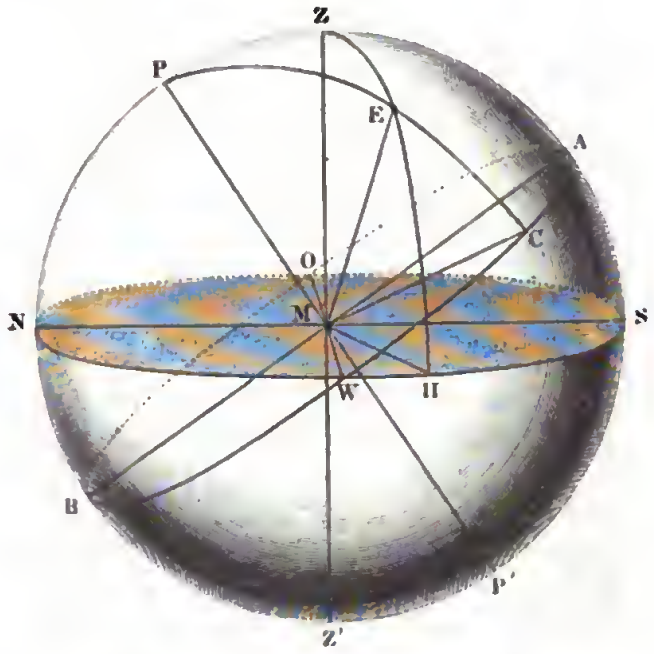
Um die Declination eines Sternes zu bestimmen, hat man nur das Fernrohr so zu richten, daß der Stern zur Zeit seiner Culmination gerade hinter dem horizontalen Faden des Fernrohrs steht, und dann die Höhe des Sternes an dem Verticalkreise abzulesen; zieht man von dieser Höhe den Winkel ab, welchen der Aequator mit dem Horizont macht, also den Bogen AS, Fig. 19 a. f. S., so erhält man die Declination des Sternes.

Es ist $AS = PZ = 90^0 - NP$, d. h. 90^0 — der Polhöhe, da man den Bogen NP oder den Winkel NMP, welchen die Weltaxe mit dem Horizont macht, die Polhöhe nennt.

Gesetzt, man habe an einem Ort, für welchen die Polhöhe gerade 50^0 beträgt, die Höhe von α tauri zur Zeit der Culmination gleich $56^0\ 12'\ 49''$

gefunden, ſo iſt die Declination dieſes Sternes gleich 56° 12′ 49″ — 40° = 16° 12′ 49″; denn wenn die Polhöhe PN 50° beträgt, ſo iſt $PZ = AS = 40°$.

Fig. 19.



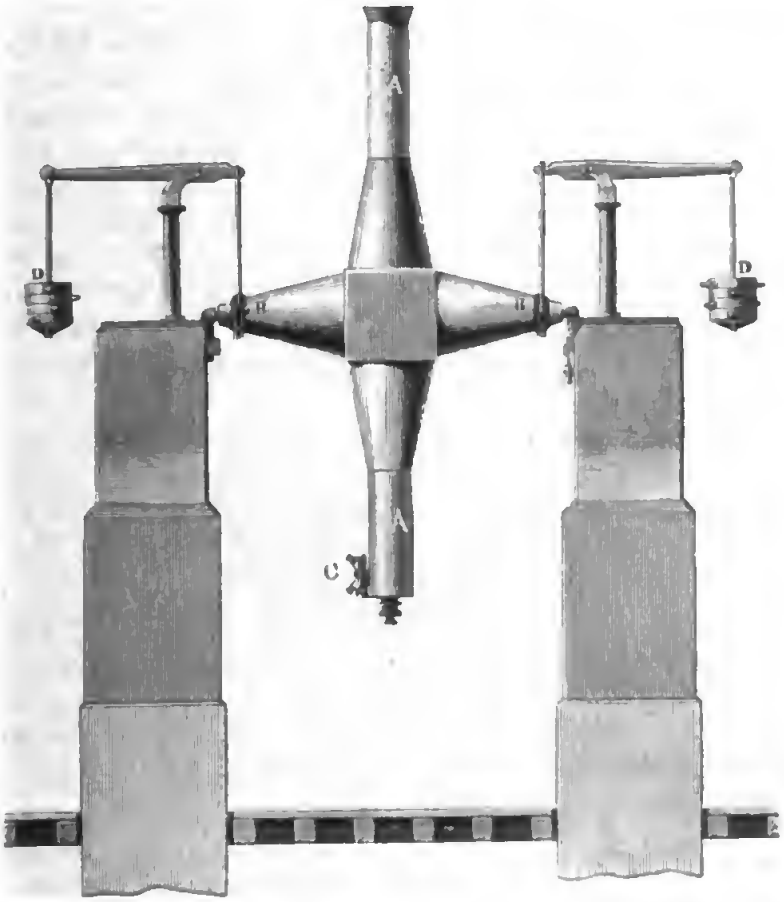
Da die Beſtimmung der Declination und Rectaſcenſion der Geſtirne durch Beobachtungen im Meridian zu den wichtigſten Aufgaben der praktiſchen Aſtronomie gehört, ſo wendet man zu dieſem Zwecke auf größeren Sternwarten nicht das Theodolit an, deſſen Horizontalkreis hier ohnehin entbehrlich iſt, ſondern andere lediglich zu dieſem Zwecke dienende Inſtrumente, welche den Namen des Mittagskreiſes und des Paſſageinſtrumentes führen.

Der Mittagskreis oder Meridiankreis iſt ein mit einem Fernrohr verbundener Höhenkreis von bedeutenden Dimenſionen (man hat ſolche von 3 bis zu 6 Fuß Durchmeſſer), der nur in der Ebene des Meridians drehbar iſt. Soll das Inſtrument lediglich zur Beſtimmung der Rectaſcenſion dienen, ſo kann auch der Höhenkreis wegfallen, es bedarf dann nur eines in der Meridianebene drehbaren Fernrohrs, welches dann ein Mittagsrohr oder Paſſagerohr genannt wird.

Fig. 20 ſtellt ein Mittagsrohr dar. AA iſt das Fernrohr, welches um eine horizontale Axe B gedreht werden kann, die in zwei cylindriſchen Zapfen endigt. Dieſe Zapfen ruhen auf Lagern, welche von maſſiven ſteinernen Pfeilern getragen werden. Dieſe Pfeiler ſind für ſich beſonders fundamentirt und ſtehen mit dem übrigen Gebäude, in welchem das Paſſageinſtrument aufgeſtellt iſt, in keiner Verbindung; ſie gehen frei durch den Fußboden des Zimmers hindurch, deſſen Schwankungen und zufällige Bewegungen alſo gar keinen Einfluß auf das Inſtrument haben können.

Die Einrichtung der Zapfenlager für die Axe B iſt aus Fig. 21 und Fig. 22 zu erſehen. Das eine, Fig. 21, iſt mittelſt einer Schraube in verti-

Fig 20.



caler Richtung verſchiebbar, um eine vollkommene Horizontalität der Axe B herſtellen zu können; das andere, Fig. 22, kann dagegen in horizontaler Richtung verſchoben werden, was nöthig iſt, um die verticale Umdrehungs-

Fig. 21.

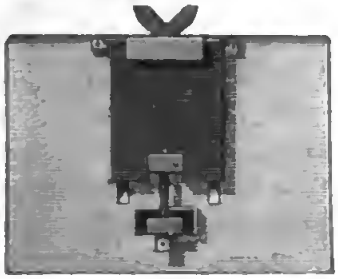
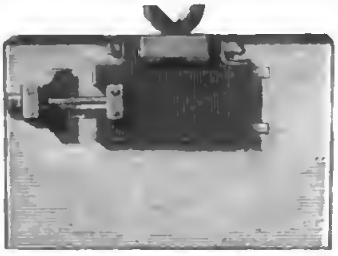


Fig. 22.



ebene des Fernrohrs genau in den Meridian zu bringen. — Zur genaueren Einſtellung in den Meridian dient die Beobachtung der oberen und der unteren Culmination von Circumpolarſternen (§. 11).

Damit nicht das ganze Gewicht des Fernrohrs auf den Zapfenlagern ruht, wodurch eine bedeutende Reibung und mit der Zeit eine Abnutzung der Zapfen und der Lager entſtehen würde, iſt das Fernrohr durch die Gegengewichte *D*, welche den größten Theil ſeiner Laſt tragen, äquilibrirt.

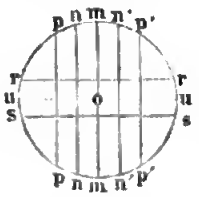
Da die Sterne bei Tage mit bloßem Auge nicht ſichtbar ſind, man ſie alſo nicht aufſuchen kann, ſo muß man im Stande ſein, das Fernrohr auch ohne dies ſo zu richten, daß der zu beobachtende Stern im Geſichtsfelde des Fernrohrs liegt. Man weiß vorher nahezu, in welcher Höhe über dem Horizont ſich derſelbe im Augenblick ſeiner Culmination befindet, man braucht alſo nur dem Mittagsrohr eine gleiche Neigung gegen den Horizont zu geben, damit der Stern das Geſichtsfeld paſſirt. Zu dieſem Zwecke iſt das Fernrohr mit einem kleinen Höhenkreiſe verbunden, welcher entweder an der Axe *B* oder, wie es unſere Figur zeigt, ſeitwärts am Rohre bei *C* angebracht iſt. Ein ſolcher kleiner Kreis dient lediglich zum Richten des Fernrohrs, und nicht zum Meſſen der Declination.

Das Paſſageinſtrument wird ſtets in Verbindung mit einer Pendeluhr von großer Genauigkeit gebraucht, deren Pendelſchläge deutlich hörbar ſind. Einige Zeit, bevor der Stern den verticalen Faden erreicht, ſchaut der Beobachter nach der Uhr, um ſich die Stellung der Zeiger zu merken, und zählt dann, in das Fernrohr blickend, die Secunden nach dem Schlage der Uhr weiter, bis zum Moment, wo er den Stern den verticalen Faden paſſiren ſieht.

Auf dieſe Weiſe erhält man den Moment der Culmination ungefähr auf 1 Secunde genau. Da nun aber 1 Zeitſecunde 15 Bogenſecunden entſpricht, ſo reicht eine ſolche Genauigkeit für aſtronomiſche Beſtimmungen nicht hin, und der Beobachter muß noch Bruchtheile der Secunde zu ſchätzen ſuchen, worin man durch Uebung eine große Fertigkeit erlangen kann.

Um eine größere Genauigkeit der Reſultate zu erlangen, hat man das einfache Fadenkreuz, wie wir es S. 24 kennen gelernt haben, durch eine Reihe von Fäden erſetzt, welche ſo geordnet ſind, wie man Fig. 23 ſieht. Neben dem mittleren verticalen Faden ſind nämlich in gleichen Abſtänden auf jeder Seite noch zwei andere ausgeſpannt. Man beobachtet nun für jeden dieſer fünf Fäden den Zeitpunkt, in welchem der Stern ihn paſſirt, und nimmt dann aus jenen fünf Beobachtungen das Mittel als den Zeitpunkt der Culmination des Sternes.

Fig. 23.



Von der größten Wichtigkeit für Rectaſcenſionsbeſtimmungen ſind die galvaniſch regiſtrirenden Uhren, welche von dem Amerikaner Locke zuerſt in Anwendung gebracht wurden. Wird bei jedem Schlage des Pendels einer aſtronomiſchen Uhr die galvaniſche Kette geſchloſſen, in deren Schließungsbogen eine dem Morſe'ſchen Telegraphen ähnliche Vorrichtung eingeſchaltet iſt, ſo wird der Stift bei jedem Secundenſchlage einen Punkt auf dem mit gleichmäßiger Geſchwindigkeit vorwärts bewegten Papierſtreifen machen. Die Geſchwindigkeit, mit welcher beim Locke'-

schen Apparate der Papierstreifen voranging, war der Art, daß die Secundenpunkte ungefähr einen Zoll von einander abstanden.

Neben dem Elektromagneten dieses Schreibapparates ist aber noch ein zweiter angebracht, dessen Windungen einer anderen Kette angehören, welche der Beobachter beliebig schließen kann, indem er mit dem Finger eine Taste anschlägt. Durch die Schließung dieser zweiten Kette wird nun gleichfalls ein Stift gegen den Papierstreifen gedrückt; bei wiederholtem Anschlagen entsteht so auf dem Papierstreifen neben der ersten Reihe von Punkten, den Secundenpunkten, eine zweite, welche wir Beobachtungspunkte nennen wollen.

Um den Moment einer Sterneulmination zu erhalten, schaut der Beobachter in das Fernrohr, während er den Finger über die Taste hält, die er in dem Momente niederdrückt, in welchem der Stern hinter den Faden tritt. Auf diese Weise wird der Beobachtungsmoment auf dem Papierstreifeu markirt.

Steht der Beobachtungspunkt neben einem Secundenpunkte, so ist der Beobachtungsmoment genau durch eine ganze Secundenzahl gegeben. Trifft der Beobachtungspunkt nicht neben einem Secundenpunkte, sondern zwischen zwei Secunden ein, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierstreifen abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, wieviel Zehntel und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vorhergehenden Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

Die große Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug der galvanisch registrirenden Uhr, außerdem aber gestattet diese Methode noch in gleicher Zeit ungleich mehr Beobachtungen anzustellen, als es vorher möglich war.

Bisher mußte man die Uhr immer neben sich haben, um den Secundenschlag zu hören; konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hülfsmittel gegeben waren, eine sehr umständliche Sache; bei einer registrirenden Uhr dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Drahtleitung leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht einmal erforderlich, daß die astronomische Uhr im Beobachtungssaale selbst ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmäßiger, sie in einem Wohnzimmer oder Büreau — natürlich an einem isolirten Pfeiler — aufzustellen, wo sie keiner großen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und einen gleichmäßigen Gang einhalten kann.

Eine registrirende Uhr läßt sich ferner noch mit dem elektrischen Telegraphen in Verbindung bringen und zu mannigfaltigen Zwecken benutzen. Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der Durchgang derselben Sterne durch den Meridian beobachtet wird, so läßt sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische Längendifferenz ableiten.

Lamont hat diesen Apparat sehr verbessert. Den Papierstreifen ersetzte er durch eine mit Ruß geschwärzte Metalltrommel, welche durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit um eine horizontale Axe gedreht wird. Auf

beiden Seiten der Walze ragt die ſtählerne Umdrehungsaxe vor und ruht auf zwei meſſingernen Lagern. Die eine Hälfte dieſer Axe iſt nun mit einem Schraubengewinde verſehen, ſo daß beim Umdrehen der Walze auch ein gleichförmiges Fortſchieben derſelben in der Richtung ihrer Längenaxe ſtattfindet; die Secundenpunkte, welche durch einen in Folge der Schließung der Kette an die Walze angedrückten Stift hervorgebracht werden, bilden demnach auf derſelben eine Spirale.

Die Beobachtungspunkte werden durch einen dicht neben dem erſteren angebrachten Stift markirt.

Das Gebäude, in welchem das Paſſageinſtrument aufgeſtellt iſt, muß ſowohl an der nördlichen und ſüdlichen Wand als auch an der Decke mit einer ſchmalen Oeffnung verſehen ſein, gerade als ob es in der Ebene des Meridians durchſägt wäre. Dieſe Spalte, welche erlaubt, das Fernrohr nach allen im Meridian gelegenen Punkten des Himmels zu richten, braucht jedoch nicht beſtändig offen zu ſein, ſie iſt vielmehr durch eine Reihe von Klappen geſchloſſen, von denen jede für ſich geöffnet werden kann.

14 **Das Aequatorialinſtrument.** Stundenwinkel und Declination ſind in Beziehung auf den Aequator ganz daſſelbe, was Azimut und Höhe für den Horizont ſind, es muß ſich demnach auch ein Inſtrument conſtruiren laſſen, welches für den Aequator daſſelbe leiſtet, wie das Theodolit für den Horizont, welches alſo in gleicher Weiſe die Meſſung des Stundenwinkels und der Declination möglich macht. Ein ſolches Inſtrument wird Aequatorialinſtrument genannt. Man könnte jedes Theodolit in ein Aequatorialinſtrument verwandeln, wenn man den Azimutalkreis in eine ſolche Stellung brächte, daß er dem Aequator parallel wäre; die Umdrehungsaxe des Kreiſes *C*, Fig. 12, würde alsdann mit der Weltaxe zuſammenfallen, der Limbus *D* würde zur Ableſung der Stundenwinkel, der Kreis *A* zur Ableſung der Declination dienen. Eine ſolche Aufſtellung des Theodolits würde aber ebenſo unbequem als unſicher ſein, man hat deshalb das Aequatorialinſtrument in anderer Weiſe conſtruirt.

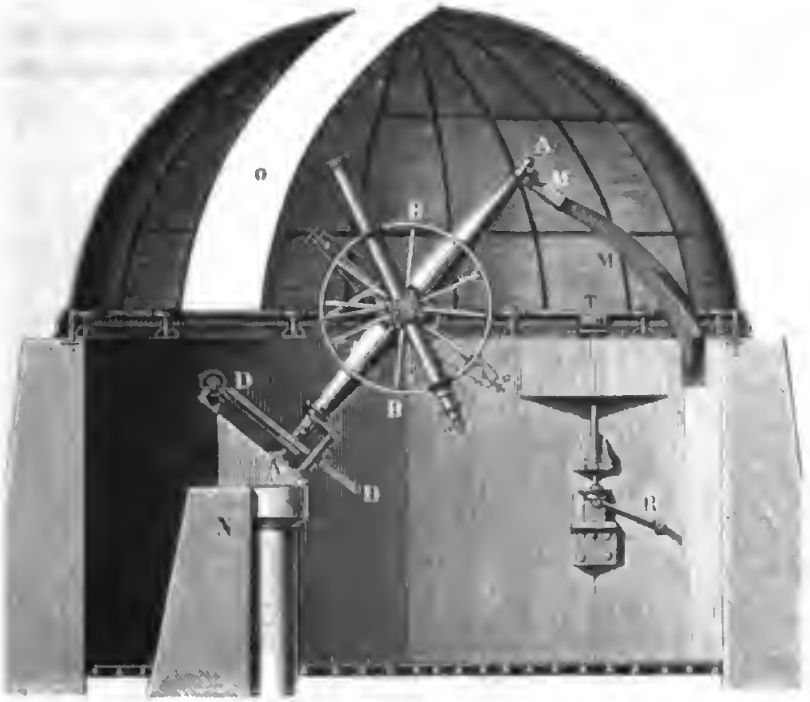
Fig. 24 ſtellt ein Aequatorialinſtrument dar, wie ſie auf Sternwarten gewöhnlich an einem erhöhten Orte des Gebäudes aufgeſtellt werden. Die der Weltaxe parallele Umdrehungsaxe *AA* iſt unten durch einen ſteinernen Pfeiler *N*, oben aber durch einen gußeiſernen Bügel *M* getragen. *DD* iſt der in unſerer Figur zur Linie verkürzt erſcheinende Aequatorialkreis, *BB* iſt der Declinationskreis.

Wenn der Declinationskreis *B* vertical ſteht, ſo befindet er ſich in der Ebene des Meridians und alsdann zeigt der Index des Aequatorialkreiſes auf Null. Der Index des Declinationskreiſes ſteht auf Null, wenn die Axe des Fernrohrs in der Ebene des Aequators ſteht, wenn ſie alſo einen rechten Winkel mit der Axe *AA* macht.

Um das Inſtrument vor dem Einfluß der Witterung zu ſchützen, iſt es mit einem gewöhnlich halbkugelförmigen Dache überdeckt, welches eine durch

Klappen verſchließbare Oeffnung O hat. Das ganze Dach ruht auf Rollen, ſo daß man es leicht mit Hülfe der Kurbel R um ſeine verticale Axe drehen

Fig. 24.



und die Oeffnung O nach der Seite des Himmels hinbringen kann, welche man gerade beobachten will.

Die am Aequatorialinſtrument gemachten Meſſungen ſind bei Weitem nicht der Genauigkeit fähig, wie die im Meridian am Paſſageinſtrument und Meridiankreis gemachten; man wendet deshalb auch das Aequatorialinſtrument zur Ortsbeſtimmung von Geſtirnen am Himmel nur dann an, wenn die Umſtände eine Beobachtung im Meridian nicht erlauben. Das Aequatorialinſtrument leiſtet aber dem Aſtronomen noch andere ſehr weſentliche Dienſte. Bei einem ſtark vergrößernden Fernrohre erſcheint auch die Geſchwindigkeit vergrößert, mit welcher die Geſtirne in Folge ihrer täglichen Bewegung fortſchreiten, und in ganz kurzer Zeit iſt das Geſichtsfeld des Fernrohrs durchlaufen; man muß alſo fortwährend verrücken, und zwar in verticaler und horizontaler Richtung, um den Stern nicht aus dem Geſichtsfelde zu verlieren. Bei dem Aequatorialinſtrumente iſt es nun ungleich leichter, dem Geſtirne zu folgen. Iſt einmal das Fernrohr des Inſtrumentes auf einen Stern gerichtet und dann der Declinationskreis feſtgeſtellt, ſo daß ſich die Neigung des Fernrohrs gegen die Axe A nicht mehr ändern kann, ſo wird bei einer Umdrehung um die Axe A die Viſirlinie des Fernrohrs am Himmelsgewölbe einen Kreis beſchreiben, welcher mit der Bahn des Sternes zuſammenfällt; es bedarf alſo nur einer langſamen Drehung um die eine Axe A, um das Geſtirn im Geſichtsfelde zu behalten.

Die fragliche Drehung um die Axe A muß von der Art ſein, daß in einer Minute (Sternzeit) der Drehungswinkel $^1/_4{}^0$, in einer Stunde 15^0 beträgt, daß alſo zu einer vollſtändigen Umdrehung 24 Stunden Sternzeit nöthig ſind. Um eine gleichförmige Umdrehung um die Axe A hervorzubringen, hat man bei größeren Aequatorialinſtrumenten in der That die Axe A mit einem Uhrwerke in Verbindung gebracht, ſo daß das Fernrohr der Bewegung des Geſtirnes folgt, welches man beobachten will.

Fig. 25.

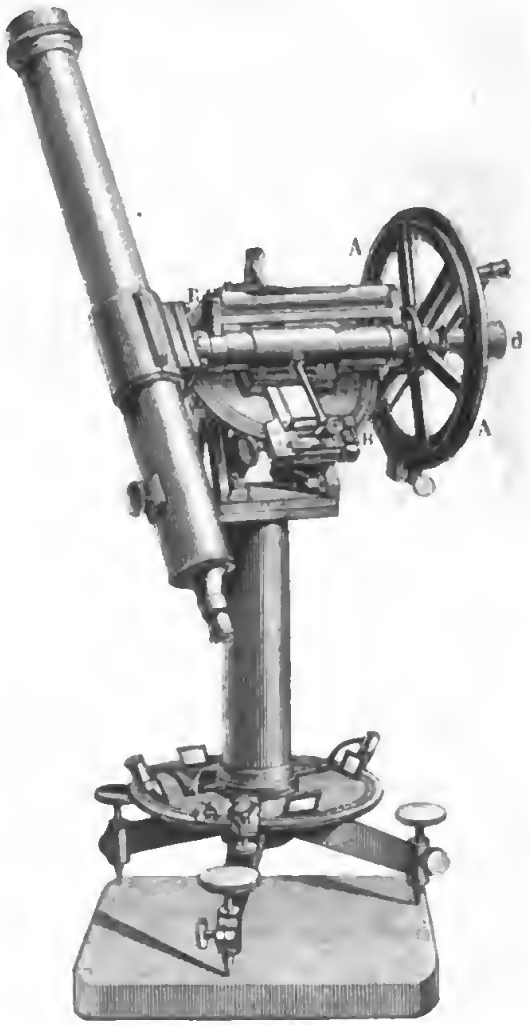
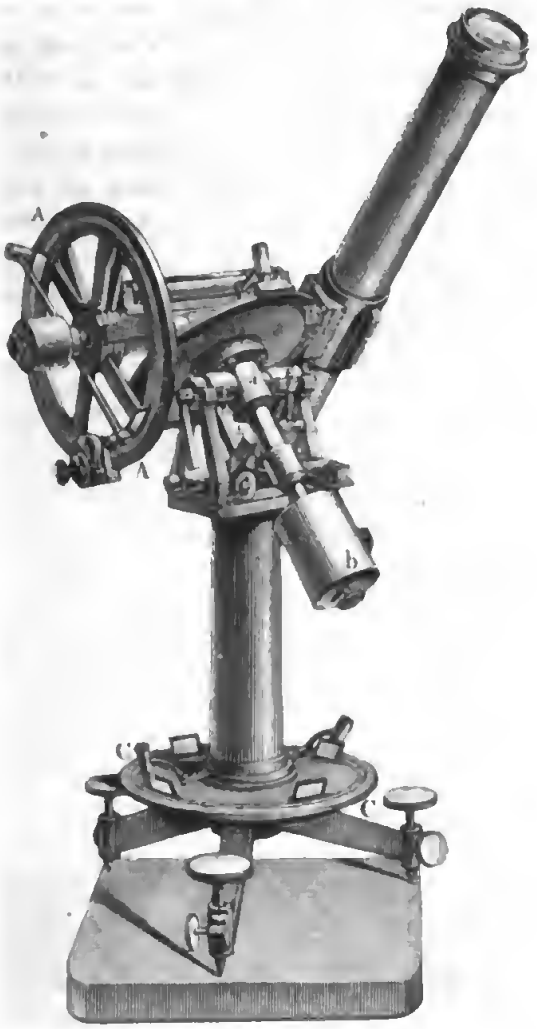


Fig. 25 und Fig. 26 ſind zwei Anſichten eines transportabeln Aequatorialinſtrumentes. Das Fernrohr iſt zunächſt um die Axe cd drehbar und die Größe der Drehung kann auf dem Declinationskreiſe AA abgeleſen werden. Die Axe cd ſelbſt aber iſt wieder um die Axe ab drehbar und dieſe Drehung wird auf dem getheilten Kreiſe BB abgeleſen werden, welcher der Aequatorialkreis genannt wird. Bei gehöriger Aufſtellung des Inſtru-

mentes ist die Axe ab parallel mit der Weltaxe und also der auf ab rechtwinklig stehende Kreis BB parallel mit dem Aequator. Auch die Axe cd steht rechtwinklig auf ab, sie bleibt also ebenfalls stets der Aequatorialebene parallel.

Vor allen Dingen kommt es nun darauf an, daß man die Axe ab leicht und sicher in die gehörige Lage bringen kann. Zunächst ist der ganze obere Theil des Instruments um die horizontale Axe fg drehbar, so daß man die Neigung der Axe ab gegen den Horizont nach Belieben ändern kann. Die

Fig. 26.



Größe dieser Neigung kann man auf dem getheilten Bogen hi, Fig. 26, ablesen, mit Hülfe dessen man also das Instrument so einstellen kann, daß der Winkel, welchen die Axe ab mit der Horizontalebene macht, gleich ist der Polhöhe des Beobachtungsortes.

Nun aber genügt es nicht, daß die Axe ab die gehörige Neigung hat, sie muß auch, wenn sie der Weltaxe parallel sein soll, in der Ebene des Meri-

dians liegen. Um nun dies bewirken zu können, iſt die ganze bisher betrachtete Vorrichtung auf einer verticalen Säule befeſtigt, welche ſammt einem horizontalen Alhidadenkreiſe, der ſich innerhalb des Limbus C bewegt, um eine verticale Axe drehbar iſt. Man dreht nun dieſe Säule um ihre Axe, bis die Axe ab in der Ebene des Meridians liegt.

Iſt einmal die Axe ab gehörig eingeſtellt, ſo werden die entſprechenden Stellſchrauben angezogen, um eine fernere Drehung der verticalen Säule ſowohl wie der horizontalen Axe fg zu verhindern.

Ein ſolches Inſtrument führt gewöhnlich nur dann den Namen eines Aequatorialinſtrumentes, wenn ſeine Kreiſe ziemlich groß und zu Meſſungen geeignet ſind. Sind ſie aber kleiner, ſo daß ſie nur zur Einſtellung des Fernrohrs dienen, ſo wird das Inſtrument ein parallaktiſch aufgeſtelltes Fernrohr oder ein Fernrohr mit parallaktiſchem Stativ genannt.

Nach dieſem Princip ſind denn auch die großen mit dem Namen der Refractoren bezeichneten Fernröhre aufgeſtellt, welche dazu dienen, Beobachtungen über die Beſchaffenheit einzelner Geſtirne, z. B. des Mondes, des Saturn u. ſ. w., anzuſtellen. Bei ſolchen Inſtrumenten wird dann auch die Drehung der Hauptaxe durch ein Uhrwerk bewerkſtelligt.

Zweites Capitel.

Geſtalt, Größe und Arendrehung der Erde.

Krümmung der Erdoberfläche. Bisher haben wir die Erdober- 15
fläche als eine Ebene betrachtet, wie ſie, die Unebenheiten der Gebirge abgerechnet, auf den erſten Anblick wohl auch erſcheinen mag; eine aufmerkſame Beobachtung der Meeresoberfläche zeigt uns aber ſchon, daß die Erdoberfläche gekrümmt ſein muß.

Wenn man von einem etwas erhöhten Standpunkte, ſei es von einem Thurm oder einem Berge am Ufer, oder von den Maſten eines Schiffes aus, auf das offene Meer hinausſchaut, ſo ſieht man von einem hinlänglich entfernten Schiffe nur die Spitzen der Maſten oder des Schornſteins, wie es bei *a*, Fig. 27, dargeſtellt iſt. Wenn ſich das Schiff dem Beobachter nähert, ſo

Fig. 27.

ſcheint es allmälig aus dem Waſſer aufzutauchen, bis es endlich vollſtändig ſichtbar wird und nun gerade auf der Gränzlinie *HH* zwiſchen Himmel und Meer zu ruhen ſcheint, wie bei *b*. Bei fortdauernder Annäherung ſcheint nun das Schiff auf der Meeresoberfläche von der Linie *HH* herabzuſteigen, ſo daß es mehr und mehr, und wenn der Beobachter hoch genug ſteht, endlich ganz auf die Meeresfläche projicirt erſcheint, wie bei *c*.

Auch auf Landſeen von einiger Ausdehnung zeigt ſich die eben beſpro-

chene Erſcheinung; Fig. 28 ſtellt dieſelbe dar, wie man ſie auf dem Bodenſee beobachtet, wenn man ſich 10 bis 12 Fuß über dem Waſſerſpiegel, etwa auf dem Verdeck eines Dampfſchiffes befindet. Um die fernen Schiffchen hinlänglich deutlich zu ſehen, muß man jedoch ein, wenn auch ſchwach vergrößerndes Fernrohr anwenden.

Fig. 28.

Dieſe Erſcheinung zeigt offenbar, daß die Meeresoberfläche gekrümmt ſei. Denkt man ſich von dem Auge des Beobachters eine gerade Linie nach irgend einem Punkte der Linie *III* gezogen, welche Waſſer und Himmel ſcheidet und welche Horizontlinie genannt wird, ſo iſt dieſe Linie offenbar eine Tangente der krummen Meeresoberfläche, wie dies Fig. 29 erläutert, in welcher *o*

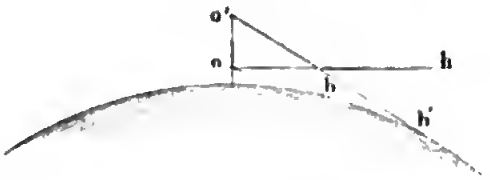
Fig. 29.

den Standpunkt des Beobachters, *oab* eine Geſichtslinie bezeichnet, welche die Meeresoberfläche in *a* ſtreift.

Sieht der Beobachter nichts als Himmel und Meer, ſo begränzt die Scheidelinie zwiſchen beiden, alſo die rings um ihn herumlaufende Horizontlinie, welche die Geſammtheit aller Punkte enthält, in welchen die von dem Auge ausgehenden Geſichtslinien die Meeresoberfläche tangiren, eine Fläche, welche wir den Geſichtskreis nennen wollen. Je höher nun der Beobachter ſich über den Spiegel des Meeres erhebt, deſto mehr wächſt, wie dies

durch Fig. 30 erläutert wird, der von ihm überſehene Geſichtskreis, deſto mehr

Fig. 30.



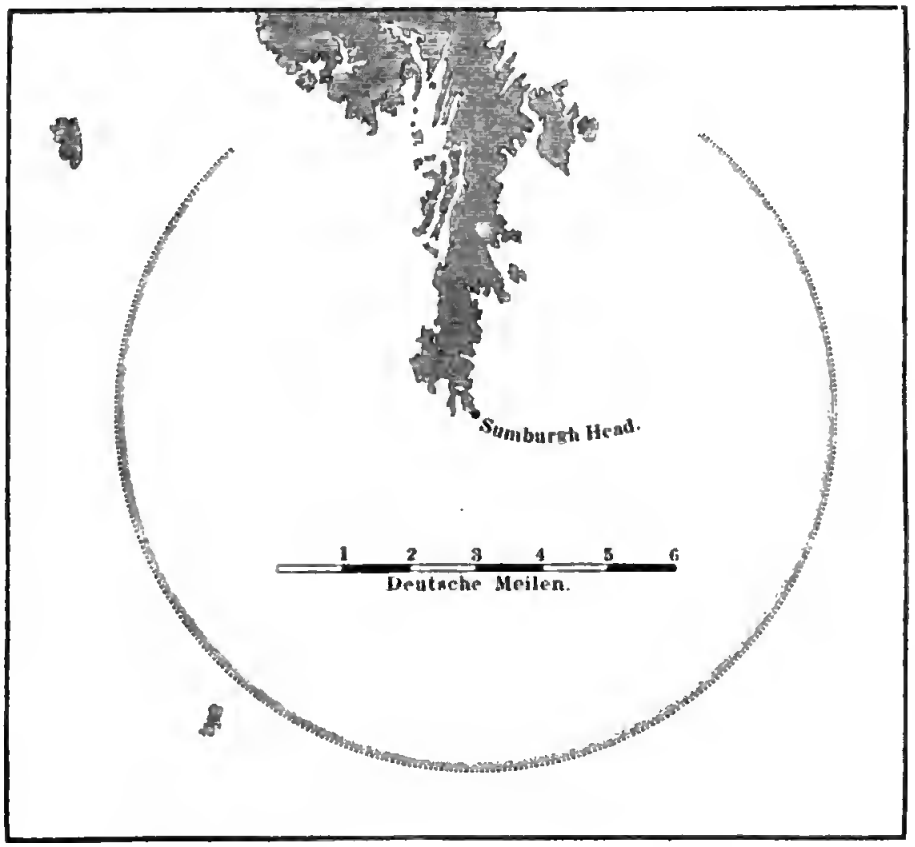
rückt die Horizontlinie von ihm weg. Der Halbmeſſer des Geſichtskreiſes iſt ungefähr

19800′,	wenn	ſich	der	Beobachter	10′
62600	»	»	»	»	100
198000	»	»	»	»	1000
626400	»	»	»	»	10000

hoch über dem Spiegel des Meeres befindet.

Fig. 31 ſtellt den Erleuchtungskreis des 280 Pariſer Fuß hohen Leuchtthurms von Sumburgh Head (der Südſpitze von Mainland, der

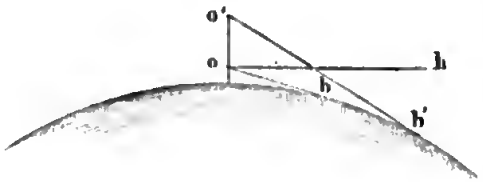
Fig. 31.



größten unter den shetländischen Inseln) dar, d. h. den Kreis, innerhalb dessen von dem Verdeck eines kleineren Schiffes das Feuer jenes Leuchtthurms sichtbar ist.

Aus dem Gesagten geht auch hervor, daß eine vom Auge des Beobachters nach einem Punkte der Horizontlinie gezogene Linie ob keineswegs mit der durch o gelegten wagerechten oh zusammenfällt, sondern daß die Visirlinie ob einen Winkel boh mit oh macht, welcher die Depression des Horizontes genannt wird. Die Depression des Horizontes wächst natürlich auch, wenn der Beobachter aufsteigt. Die Depression des Horizontes ist

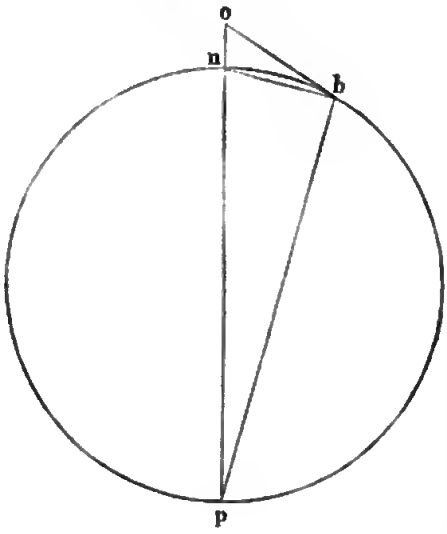
Fig. 32.



3,5′	für	eine	Erhebung	von	10′
11,0	»	»	»	»	100
34,7	»	»	»	»	1000
1° 50,0	»	»	»	»	10000.

Alle diese Erscheinungen deuten nun darauf hin, daß wenigstens die Meeresoberfläche kugelförmig gekrümmt sei. Da aber die Oberfläche der Meere viel größer ist als die der Länder, da ferner die Erhebung der Continente über den Meeresspiegel verhältnißmäßig ganz unbedeutend ist, so können wir schließen, daß die ganze Erde eine Kugel sei.

Fig. 33.



Gehen wir von dieser Annahme aus, so können wir aus den eben mitgetheilten Werthen für den Radius des Gesichtskreises die Größe des Erdhalbmessers berechnen. Der Kreis Fig. 33 stelle einen Durchschnitt der Erdkugel dar, so ist np ein Durchmesser derselben. o sei nun der Standpunkt des Beobachters, ob eine durch sein Auge an die Erdoberfläche gelegte Tangente, so sind die Dreiecke nob und obp einander ähnlich und man hat

$$no : ob = ob : op$$

und daraus:

$$op = \frac{ob^2}{no}.$$

Wenn die Erhebung $no = 1000'$ ist, so ist $ob = 198000'$, es ist also

$$op = \frac{198000^2}{1000} = 39204000.$$

Ziehen wir davon $no = 1000$ ab, ſo bleibt für den Durchmeſſer der Erde $D = 39203000$ Fuß oder 1782 deutſche Meilen, da eine ſolche Meile in runder Zahl gleich 22000 Fuß iſt.

Eine ſolche Beſtimmungsweiſe des Erddurchmeſſers kann natürlich keine genauen Reſultate liefern.

Sehr gut laſſen ſich aus geodetiſchen Höhenmeſſungen ſowohl die Krümmung der Erde nachweiſen, als auch ihre Dimenſionen annähernd berechnen.

Wenn man nämlich von zwei möglichſt weit von einander entfernten Orten, die ſo gelegen ſind, daß man von jedem aus den anderen ſehen kann, den Winkel mißt, welchen an jedem dieſer Orte die Verticale deſſelben mit der beide Orte verbindenden Viſirlinie macht, ſo beträgt die Summe dieſer Winkel nicht 180°, wie es ſein müßte, wenn die Verticalen beider Orte parallel wären. Aus der Differenz dieſer Winkelſumme von 180° läßt ſich der Halbmeſſer der Erde berechnen, wenn die Entfernung beider Orte bekannt iſt.

Ein Beiſpiel mag dies erläutern. Nach den vom Obriſten Kloſe im Jahre 1833 mit einem achtzölligen Höhenkreiſe gemachten Meſſungen macht die Viſirlinie SD vom Straßburger Münſter nach dem Rande des Durlacher Wartthurms mit der Verticalen SC einen Winkel von 89° 48′, während der Winkel SDM gleich 89° 45′ gefunden wurde. Da die Summe dieſer beiden Winkel, 179° 33′, kleiner iſt als 180°, ſo ſind alſo die Linien SC und DM nicht parallel, ſondern ſie convergiren, und der Winkel, unter welchem ſie im

Fig. 34.

Mittelpunkte der Erde (vollkommene Kugelgeſtalt vorausgeſetzt) zuſammentreffen, iſt 180° — (179° 23′) = 37′.

Da nun aber die Entfernung des Straßburger Münſters vom Durlacher Wartthurme 71058 Meter beträgt, ſo hat man, um zu berechnen, wie lang $^1/_4$ des Erdumfanges iſt, die Proportion:

$$37' : 71058^m = 90^0 : x$$

oder:

$$37' : 71058^m = 5400' : x,$$

alſo:

$$x = 10\,370\,000 \text{ Meter.}$$

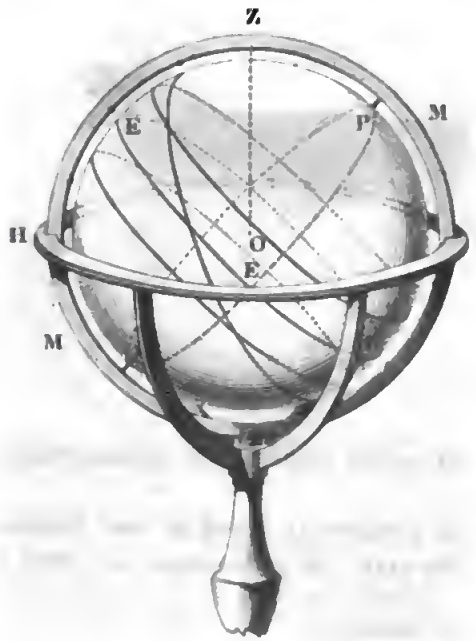
Demnach würde ſich die Länge des Erdhalbmeſſers gleich 900 Meilen ergeben. Um ein genaueres Reſultat zu erhalten, müßte man an den gemeſſenen Winkeln erſt eine Correction wegen der atmoſphäriſchen Strahlenbrechung anbringen, wovon aber hier noch nicht die Rede ſein kann.

Weitere Beweiſe für die Kugelgeſtalt der Erde liefern die ſogenannten Reiſen um die Welt und die Geſtalt des Erdſchattens, wie man ſie bei Mondfinſterniſſen zu beobachten Gelegenheit hat; am entſchiedenſten aber ergiebt ſie ſich, wenn man mit Aufmerkſamkeit den Anblick des geſtirnten Himmels in verſchiedenen Gegenden vergleicht.

16 **Beſtimmung der Kugelgeſtalt durch aſtronomiſche Beobachtungen.** Im vorigen Capitel wurde bereits angeführt, daß für das mittlere Deutſchland die Weltaxe ungefähr einen Winkel von 50 Graden, und alſo die Ebene des Aequators einen Winkel von 40 Graden mit der Ebene des Horizontes mache. Das ändert ſich nun, ſobald man nach Norden oder nach Süden reiſt.

Je weiter man nach Norden geht, deſto mehr ſteigt der Polarſtern in die Höhe, während der Himmelsäquator ſich in gleichem Maße gegen die Ebene des Horizontes ſenkt. Es nimmt alſo die Zahl der Sterne zu, welche nicht auf- und nicht untergehen; dagegen wird aber auch ein immer größerer Theil der ſüdlichen Hälfte der Himmelskugel ganz unſichtbar, der Gürtel der Sterne, welche auf- und untergehen, wird immer ſchmäler.

Fig. 35.



Am beſten kann man ſich dieſe Veränderungen anſchaulich machen, wenn man einen Himmelsglobus zur Hand nimmt. Fig. 35 zeigt einen Himmelsglobus in derjenigen Stellung, wie ſie den Erſcheinungen des geſtirnten Himmels im mittleren Deutſchland entſpricht; der Nordpol des Himmels ſteht 50° über der Ebene des Horizontes, mit welcher der Himmelsäquator einen Winkel von 40° macht.

Soll der Himmelsglobus die Erſcheinungen nördlicher gelegener Gegenden darſtellen, ſo muß man den Meſſingring M ſo drehen, daß die Axe PQ ſich mehr und

mehr der Verticalen nähert. In der Stellung Fig. 36 z. B. zeigt der Himmelsglobus die Erſcheinungen des geſtirnten Himmels, wie ſie ungefähr an den nördlichſten Gränzen Europas wahrgenommen werden. Die Zenithdiſtanz des Polarſterns beträgt keine 20° mehr, die Plejaden gehen nicht mehr auf und unter, ſondern man ſieht ihre obere und ihre untere Culmination. Sirius und Spica erheben ſich am ſüdlichen Himmel kaum noch über den Horizont, während Antares im Scorpion und Fomalhaut im ſüdlichen Fiſch gar nicht mehr ſichtbar werden.

Könnte man vom Nordcap aus noch ſo weit nach Norden fortgehen, wie das Nordcap von Frankfurt am Main liegt, ſo würde man zu einem Punkte kommen, wo der Nordpol des Himmels im Zenith liegt und der Himmelsäquator in die Ebene des Horizontes fällt, wie es Fig. 37 darſtellt. Hier iſt nur noch die nördliche Hemiſphäre des Himmels ſichtbar. Alle ſichtbaren

Fig. 36.

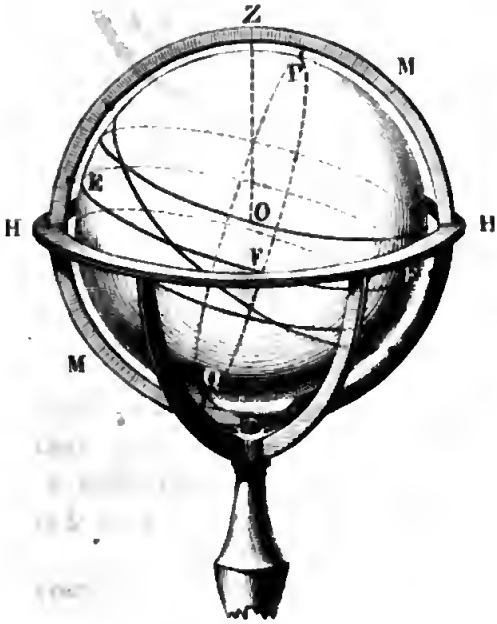
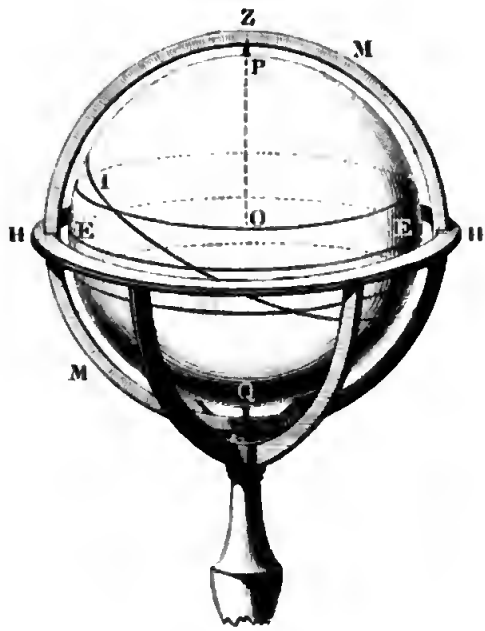


Fig. 37.



Sterne beſchreiben während ihrer täglichen Bewegung Kreiſe, welche mit dem Horizont parallel ſind, die Höhe eines Sternes bleibt alſo ſtets unverändert.

Verfolgen wir nun auch die Veränderungen, welche der geſtirnte Himmel darbieten wird, wenn man vom mittleren Deutſchland aus nach Süden geht. Der Nordpol des Himmels ſenkt ſich immer mehr und immer kleiner wird der Kreis der Sterne, welche nicht auf- und nicht untergehen. Auf den Inſeln des grünen Vorgebirges z. B. iſt der Polarſtern nur noch 15° über dem Horizont.

Das Sternbild des großen Bären gehört hier nicht mehr zu denen, welche ſtets über dem Horizont bleiben; dagegen bleibt auch nur ein kleiner Theil des ſüdlichen Himmels unſichtbar, und das ſchöne Sternbild des Kreuzes glänzt

am ſüdlichen Himmel. Fig. 38 ſtellt ungefähr die Stellung der Himmelskugel gegen den Horizont dar, wie ſie auf den Inſeln des grünen Vorgebirges beobachtet wird.

Noch weiter nach Süden fortſchreitend, gelangt man endlich an Orte, wo der Himmelsäquator im Zenith erſcheint, Fig. 39, wie dies z. B. in Quito der

Fig. 38.

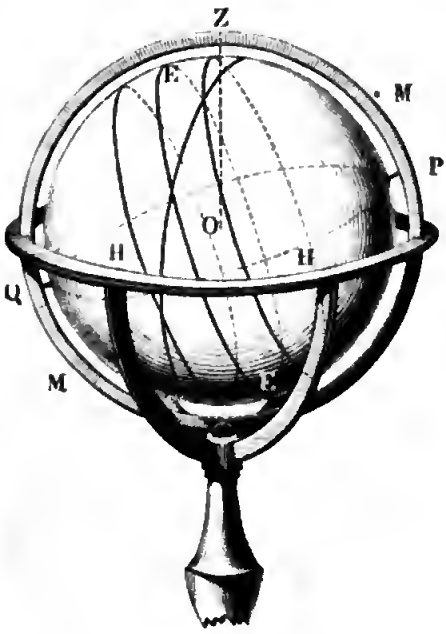
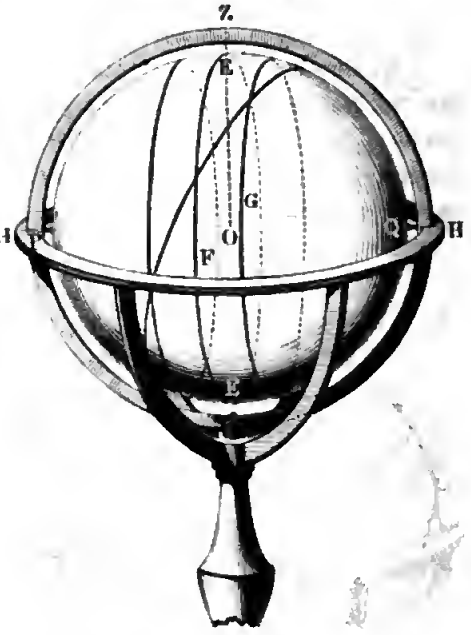


Fig. 39.



Fall iſt. Nach Norden hin ſieht man den Nordpol, nach Süden hin den Südpol des Himmels im Horizont. Alle Parallelkreiſe des Himmels ſtehen rechtwinklig auf der Ebene des Horizontes. Kein Stern des Himmels bleibt beſtändig über, keiner beſtändig unter dem Horizont, für alle Sterne iſt der Tagbogen dem Nachtbogen gleich.

Setzt man den Weg nach Süden hin immer noch weiter fort, ſo verſchwindet der Nordpol des Himmels unter dem Horizont, der Südpol dagegen ſteigt höher und höher.

Aus dieſen eben beſprochenen Erſcheinungen geht hervor, daß die Erde in der Richtung von Norden nach Süden hin gekrümmt ſein muß, und zwar ziemlich gleichförmig; denn für je 342000 Fuß, um welche man gerade nach Norden hin fortſchreitet, erhebt ſich der Polarſtern ungefähr um 1° mehr über den Horizont.

Ebenſo iſt aber auch die Erde in der Richtung von Oſt nach Weſt gekrümmt. Reiſt man gerade nach Weſten hin, ſo ändert ſich zwar der Anblick des geſtirnten Himmels durchaus nicht; aber die Zeit des Auf- und Untergangs der Geſtirne, die Zeit ihrer Culmination iſt nicht dieſelbe. In demſelben Moment, in welchem die Sonne in London aufgeht, iſt ſie zu Berlin ſchon bald

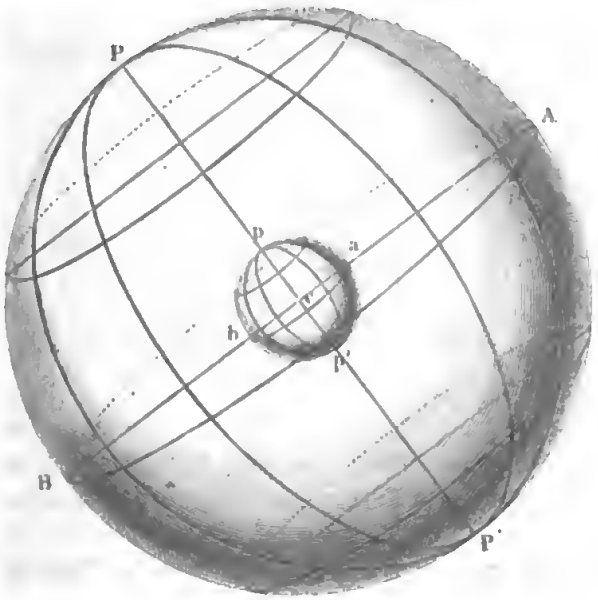
eine Stunde lang über dem Horizont; und die Zeit des Mittags von Quito fällt mit der Zeit der Mitternacht von Sumatra zuſammen.

Von der Richtigkeit dieſer Behauptung kann ſich jeder Reiſende mit Hülfe einer guten Uhr überzeugen. Nehmen wir an, die Uhr ſei nach Berliner Zeit gerichtet, d. h. ſie gehe ſo, daß ſie für Berlin ſtets die richtige Zeit angiebt, ſo wird dieſe Uhr, wenn man dieſelbe, ohne ſie zu verſtellen, an weſtlicher gelegene Orte bringt, ſtets vor der Uhr dieſer Orte vorgehen, und zwar um ſo mehr, je weiter man nach Weſten fortſchreitet. Die nach Berliner Zeit gehende Uhr geht in London nahezu eine, in Newyork $5\frac{1}{2}$ Stunden vor.

Faſſen wir dies Alles zuſammen, ſo ergiebt ſich, daß die Erde überall in gleicher Weiſe von Nord nach Süd und von Oſt nach Weſt gekrümmt, kurz, daß ſie eine Kugel iſt, und zwar muß dieſe Kugel frei im Weltraume ſchweben, weil es keine Stelle des Himmels giebt, die nicht von den entſprechenden Orten der Erde aus frei ſichtbar wäre.

Geographiſche Länge und Breite. Fig. 40 ſtellt die mitten in 17
der Himmelskugel ſchwebende Erdkugel dar, wobei jedoch zu bedenken iſt, daß die Dimenſionen der Erdkugel verſchwindend klein ſind im Vergleich zu denen der Himmelskugel, was man in der Zeichnung freilich nicht richtig darſtellen kann. Die Weltaxe PP' geht mitten durch die Erdkugel hindurch und trifft ihre Ober-

Fig. 40.



fläche in zwei Punkten pp', welche die Pole der Erde ſind; p iſt der Nordpol, p' iſt der Südpol der Erde.

Die Ebene des Himmelsäquators ſchneidet die Erde in einem Kreiſe abc, welcher der Aequator der Erde iſt.

Denken wir uns an irgend eine Stelle der Erdoberfläche eine Berührungsebene gelegt, ſo iſt dies der ſcheinbare Horizont, d. h. der Horizont, welcher dem auf der Erdoberfläche befindlichen Beobachter in der That die ſichtbare Hälfte der Himmelskugel begränzt. Es iſt klar, daß ein auf dem Nordpol der Erde ſtehender Beobachter den Nordpol des Himmels im Zenith hat, daß dagegen für einen auf dem Erdäquator ſtehenden Beobachter ein Punkt des Himmelsäquators das Zenith bildet, kurz, daß bei Veränderung des Standpunktes auf der Erde der Anblick des Himmels ſich in der Weiſe ändern müſſe, wie wir es im vorigen Paragraphen geſehen haben.

Eine parallel mit dem ſcheinbaren Horizont durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene iſt der wahre Horizont. Der Abſtand des wahren Horizontes vom ſcheinbaren iſt ſo klein im Vergleich zu den Dimenſionen des Himmelsgewölbes, daß der Anblick des geſtirnten Himmels für den auf der Oberfläche der Erde befindlichen Beobachter derſelbe iſt, als ob er ſich im Mittelpunkte des wahren Horizontes befände.

Den Stundenkreiſen und Parallelkreiſen auf der Himmelskugel entſprechend denkt man ſich auch auf der Erdkugel ein Syſtem von Kreiſen gezogen. — Diejenigen größten Kreiſe, welche durch die beiden Pole p und p' der Erde gehen, welche alſo den Stundenkreiſen der Himmelskugel entſprechen, werden Längenkreiſe, Meridiankreiſe oder nur Meridiane genannt. Die mit dem Aequator parallelen Kreiſe heißen Parallelkreiſe oder Breitekreiſe.

Mittelſt dieſer Kreiſe findet die Ortsbeſtimmung auf der Oberfläche der Erdkugel ganz in derſelben Weiſe Statt, wie die Ortsbeſtimmung am Himmel, durch Declination und Rectaſcenſion. Was für die Himmelskugel die Declination iſt, das iſt die geographiſche Breite für die Erdkugel; die geographiſche Länge hat für die Erdkugel dieſelbe Bedeutung wie die Rectaſcenſion für die Himmelskugel.

Die geographiſche Breite eines Ortes iſt der auf ſeinem Meridian gemeſſene Bogen von dem Orte bis zum Erdäquator. So iſt z. B. die geographiſche Breite von Freiburg 48°, Freiburg iſt alſo noch um 42 Breitegrade vom Nordpol der Erde entfernt, da der Bogen vom Pol bis zum Aequator 90° beträgt.

Die geographiſche Länge eines Ortes iſt der auf dem Aequator gezählte Winkel oder Bogen, welcher zwiſchen dem Meridian des Ortes und irgend einem beſtimmten zum Ausgangspunkte der Zählung gewählten Meridian liegt.

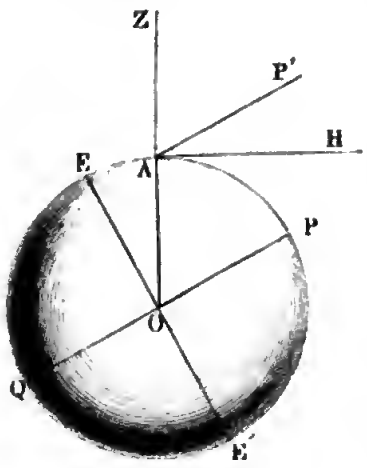
Gewöhnlich zählt man die Länge von dem durch die Inſel Ferro gelegten Meridian.

So iſt denn die Lage von Freiburg vollkommen beſtimmt, wenn man ſagt, es liege in einer nördlichen Breite von 48° und ſeine geographiſche Länge ſei (ungefähr) $25\frac{1}{2}^{\circ}$ öſtlich von Ferro.

Die Engländer nehmen den Meridian von Greenwich, die Franzoſen von Paris zum Ausgangspunkte für die Zählung der geographiſchen Breite.

Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes. Fig. 41 18
ſtelle die Erdkugel dar. PQ ſei die Erdaxe, EE' der zur Linie verkürzt erſcheinende Erdäquator; es ſei ferner A irgend ein Ort auf der Erdoberfläche, ſo iſt der Bogen EA die geographiſche Breite deſſelben. Denken wir uns nun von A aus eine gerade Linie AP' parallel mit der Erdaxe gezogen, ſo trifft die Verlängerung dieſer Linie gerade den Himmelspol (da ja die Dimenſionen der Erde verſchwindend klein ſind gegen die des Himmelsraumes). Der Winkel aber, welchen AP' mit AH, der Ebene des Horizontes von A, macht, iſt aber offenbar gleich dem Winkel EOA, oder mit anderen Worten: die geographiſche Breite eines Ortes iſt ſeiner Polhöhe gleich.

Fig. 41.



Um die geographiſche Breite eines Ortes zu ermitteln, hat man alſo nur zu meſſen, um wie viel Grade der an dieſem Orte ſichtbare Himmelspol über der Ebene des Horizontes ſteht.

Da aber der Himmelspol nicht durch einen beſtimmten Stern bezeichnet iſt, ſo kann man die Polhöhe nicht durch eine einzige directe Meſſung finden; ſie ergiebt ſich aber ſehr einfach aus der Beobachtung der oberen und unteren Culmination der Circumpolarſterne. Hat man die Höhe eines der Circumpolarſterne zur Zeit der obern und dann wieder zur Zeit der untern Culmination gemeſſen, ſo hat man aus dieſen beiden Winkeln nur das Mittel zu nehmen, um die Polhöhe zu finden.

Man hat z. B. zu Freiburg gefunden:

Höhe des Polarſterns zur Zeit der untern Culmination 46° 32′
» » » » » » obern » 49 28,

ſo ergiebt ſich daraus die Polhöhe von Freiburg gleich 48°.

An Orten, wo die Localitäten oder auch die Einrichtung der Inſtrumente die Beobachtung der Circumpolarſterne nicht zulaſſen, kann man auch aus der Höhe eines beliebigen andern Sterns zur Zeit ſeiner Culmination auf die geographiſche Breite des Beobachtungsortes ſchließen, da ja die Declination aller helleren Sterne wenigſtens durch genaue Meſſungen auf den erſten Stern warten ein- für allemal bekannt iſt (Cap. I, §. 12). Beobachtet man nun die Höhe eines Sternes zur Zeit ſeiner Culmination, ſo hat man von derſelben nur die Declination des Sternes abzuziehen (oder zu addiren, wenn die Declination eine ſüdliche iſt), um zu erfahren, wie hoch derjenige Punkt des Aequators, welcher gerade im Meridian ſich befindet, über dem Horizont liegt, oder mit anderen Worten, welchen Winkel der Himmelsäquator mit dem Horizont macht. Dieſer Winkel iſt aber gleich der Zenithdiſtanz des Himmelspols und ergänzt alſo die Polhöhe (alſo auch die geographiſche Breite) zu 90°.

Man hat z. B. zu Freiburg die Höhe des Procyon (α canis minoris), deſſen Declination 5° 38′ iſt, zur Zeit ſeiner Culmination gleich 47° 38′ gefunden, und daraus ergiebt ſich 42° als Werth des Winkels, welchen der Himmelsäquator mit dem Horizont von Freiburg macht, die geographiſche Breite von Freiburg iſt alſo 48°.

19. **Beſtimmung der geographiſchen Länge.** Nach der obigen Definition wird die geographiſche Länge eines Ortes durch den Winkel gemeſſen, welchen der Meridian deſſelben mit demjenigen Meridian macht, den man zum Nullpunkte der geographiſchen Länge gewählt hat.

Um den Unterſchied der geographiſchen Länge zweier Orte zu ermitteln, muß man beſtimmen, um wie viel Stunden die Culmination eines und deſſelben Sternes an dem einen Orte ſpäter eintritt als am anderen. Dieſe in Stunden ausgedrückte Zeitdifferenz hat man nur mit 15 zu multiplicieren, um den geſuchten Längenunterſchied in Graden ausgedrückt zu erhalten.

Dieſe Zeitdifferenz erhält man aber durch die Vergleichung zweier Uhren, von denen die eine nach der Zeit des erſten, die andere nach der Zeit des zweiten Ortes regulirt iſt. Eine ſolche Vergleichung kann man aber nach verſchiedenen Methoden ausführen.

Sind die beiden Orte, deren Längenunterſchied man ermitteln will, nicht gar zu weit von einander entfernt, ſo wählt man zwiſchen beiden Stationen einen Punkt, etwa eine Bergſpitze, einen Thurm u. ſ. w., welcher von beiden Orten aus zugleich geſehen werden kann, auf welchem dann ein vorher verabredetes Signal, etwa durch Anzünden einer kleinen Menge Pulver, gegeben wird. Die Beobachter an den beiden Stationen, welche den Gang ihrer Uhren nach der Culmination eines und deſſelben Sternes regulirt haben, notiren die Zeit, in welcher ſie das Signal wahrnehmen, und aus der Vergleichung der notirten Zeitmomente ergiebt ſich dann der verlangte Zeit- und Längenunterſchied.

Wenn die beiden Orte durch einen elektriſchen Telegraphen mit einander verbunden ſind, ſo kann man ſich deſſelben zur Beſtimmung der Längenunterſchiede bedienen, da die Geſchwindigkeit des galvaniſchen Stromes ſo groß iſt, daß man die Fortpflanzung des Signals von der einen Station zur andern als momentan betrachten darf. Der Beobachter der einen Station notirt ſich die Uhrzeit, in welcher er das elektriſche Signal abſendet, der andere beobachtet die Uhrzeit, in welcher er es wahrnimmt. Die Differenz dieſer Uhrzeiten giebt den Längenunterſchied. Dies Verfahren giebt ſehr genaue Reſultate und iſt mit Erfolg in den vereinigten Staaten von Nordamerika in Anwendung gebracht worden.

Nach dieſer Methode wurden auch am 13. und am 29. Auguſt 1852 Morgens zwiſchen 6 und 7 Uhr Verſuche zur Beſtimmung des Längenunterſchiedes von Frankfurt a. M. und Berlin gemacht. Das Signal beſtand in einem einfachen Drucke auf den Schlüſſel des Telegraphen und wurde an dem andern Ende der Telegraphenlinie als ein einfaches Knacken von nicht meßbarer Dauer gehört. Bezeichnen wir mit t_b die Berliner Zeit für den Moment eines

ſolchen Signals, mit t_f die gleichzeitige Frankfurter Zeit, ſo ergab ſich für den fraglichen Längenunterſchied beider Orte im Durchſchnitt aus allen zu Berlin gegebenen Signalen (Jahresbericht des phyſikaliſchen Vereins zu Frankfurt a. M. für 1852 und 1853):

$$D = t_b - t_f = 18' 51{,}89'',$$

und das Mittel aus allen Frankfurter Signalen

$$D' = t_b - t_f = 18' 51{,}77''.$$

Wenn eine meßbare Zeit c zwiſchen der Abgabe und der Ankunft eines Signals verſtriche, ſo hätte man, wenn ſich t_b und t_f auf die Momente der Zeichengebung beziehen, die Differenz der Uhrzeiten des Abgangs und der Ankunft für die Berliner Signale

$$D = t_b - (t_f + c)$$

und für die Frankfurter Signale

$$D' = (t_b + c) - t_f.$$

Es müßte alſo die Differenz D' für die Frankfurter Signale größer ſein als die entſprechende Differenz D für die Berliner Signale. Da dies nun nicht der Fall iſt, ſo liefern dieſe Verſuche zugleich den Beweis, daß die Zeit, in welcher ſich der galvaniſche Strom von Berlin nach Frankfurt fortpflanzt, in der That verſchwindend klein iſt.

Solche Signale ſind aber nicht mehr anwendbar, wenn die beiden Orte zu weit von einander entfernt und durch Meere getrennt ſind. Statt der irdiſchen Signale muß man alsdann himmliſche anwenden, d. h. man beobachtet den Moment, in welchem gewiſſe Erſcheinungen am Himmel, die wir ſpäter noch beſprechen werden, wie Sternbedeckungen, Verfinſterung von Jupiterstrabanten u. ſ. w. eintreten. Den Zeitpunkt, in welchem dieſe Erſcheinungen an irgend einer der Hauptſternwarten eintreten müſſen, erfährt man aus den aſtronomiſchen Jahrbüchern, welche von den Aſtronomen der wichtigſten Obſervatorien herausgegeben werden und welche die für einige Jahre ſchon vorausberechneten Momente dieſer Erſcheinungen enthalten.

So enthält z. B. das Berliner aſtronomiſche Jahrbuch für 1853 die Angabe, daß am 20. Mai dieſes Jahres eine Bedeckung des Sternes $\varkappa$ virginis durch den Mond ſtattfinde, und zwar müßte der Stern für Berlin um 13^h 16,4′ am öſtlichen Mondrande eintreten. Lorey beobachtete den Eintritt dieſes Sternes zu Frankfurt a. M. an demſelben Tage um 12^h 56,2′; demnach betrüge der Längenunterſchied zwiſchen Berlin und Frankfurt 20′ 12″. An dieſem Reſultate ſind aber noch Correctionen anzubringen, welche hier nicht beſprochen werden können.

Am einfachſten ergeben ſich die Längendifferenzen durch Anwendung guter, gleichförmig gehender Chronometer, welche man von dem einen Orte an den andern mit hinnimmt. Dieſe Methode wird vorzugsweiſe zur Längenbeſtimmung auf der See angewendet. Dieſe Chronometer werden für den Meridian irgend einer bedeutenden Sternwarte, z. B. den von Greenwich, regulirt, ſie

geben alſo für jeden Augenblick die Greenwicher Zeit an; man hat alſo nur die Zeit des Ortes, an welchem man ſich befindet, mit der des Chronometers zu vergleichen, um daraus die Längendifferenz abzuleiten.

Eine nach dieſer Methode gemachte Längenbeſtimmung wird natürlich um ſo genauer ausfallen, je regelmäßiger und genauer der Gang der Uhr iſt. Wo es auf ſehr große Genauigkeit ankommt, wendet man gleichzeitig mehrere Chronometer an und nimmt das Mittel aus allen einzelnen Beſtimmungen; ſo wurde im Jahre 1824 die Länge von Altona, Helgoland und Bremen in Beziehung auf die Sternwarte von Greenwich durch 35 Chronometer, mit welchen man ſechsmal die Reiſe über das Meer machte, und im Jahre 1843 wurde in gleicher Weiſe der Längenunterſchied der Sternwarte von Pulkawa bei Petersburg und der von Greenwich mit Hülfe von 68 vorzüglichen Chronometern beſtimmt.

Wie man die Zeit des Beobachtungsortes ſelbſt ermittelt, werden wir ſpäter ſehen.

Die folgende Tabelle enthält die Länge und Breite einiger Hauptſternwarten.

Namen des Ortes.	Geographiſche Breite. + nördlich. − ſüdlich.	Länge von Berlin in Zeit. + weſtlich. − öſtlich.	Oeſtliche Länge von Ferro in Bogen.
Berlin	+ 52° 30′ 16,7″	+ 0ʰ 0′ 0″	31° 3′ 30,0″
Bonn	+ 50 44 9,1	+ 0 25 8,5	24 46 22,5
Greenwich . . .	+ 51 28 38,2	+ 0 53 35,5	17 39 37,5
Kaſan	+ 55 47 23,0	− 2 22 57,0	66 47 45,0
Königsberg . .	+ 54 42 50,4	− 0 28 25,0	38 9 45,0
Madras	+ 13 4 9,2	− 4 27 28,3	97 55 34,5
München . . .	+ 48 8 45,0	+ 0 7 9,0	29 16 15,0
Paramatta . . .	− 33 48 49,8	− 9 10 30,8	168 41 12,0
Pulkawa	+ 59 46 18,6	− 1 7 43,0	47 59 15,0
Vorgeb. d. g. Hoff.	− 33 56 3,0	− 0 20 19,5	36 8 22,5
Waſhington . .	+ 38 53 32,8	+ 6 1 40,1	300 38 28,5
Wien	+ 48 12 35,5	− 0 11 56,4	34 2 36,0

20) **Abplattung der Erde.** Wenn die Erde eine vollſtändige Kugel wäre, ſo müßte die Entfernung zweier auf demſelben Meridian liegender Punkte, von denen der eine genau 1° nördlicher liegt als der andere, für alle Theile des Meridians genau dieſelbe ſein; der Bogen vom Aequator bis zu 1° nördlicher Breite müßte alſo genau ſo lang ſein wie der Bogen vom 89ſten Breitegrade bis zum Pol.

Dies iſt nun in der That nicht der Fall. Genaue Gradmeſſungen, welche in verſchiedenen Gegenden der Erde vorgenommen wurden, haben gezeigt, daß die Länge eines Breitegrades mit der Entfernung vom Aequator zunimmt, wie man aus folgender Tabelle erſieht.

Namen des Landes.	Mittlere Breite.	Länge eines Breitegrades.
Peru	1° 31′	56736,8 Toiſen
Indien	12 32	56762,3 »
Frankreich	46 8	57024,6 »
England	52 2	57066,1 »
Lappland	66 20	57196,2 »

Die Meridiane ſind alſo in der Nähe des Aequators ſtärker gekrümmt als an den Polen, der Aequatorialdurchmeſſer der Erde iſt alſo größer als der Polardurchmeſſer, oder mit anderen Worten, die Erde iſt an den Polen abgeplattet.

Die geodätiſchen Operationen, durch welche dergleichen Gradmeſſungen ausgeführt werden, können hier nicht den Gegenſtand weiterer Beſprechung bilden.

Newton hatte die Abplattung der Erde aus theoretiſchen Gründen abgeleitet; allein es fehlte an genauen Gradmeſſungen, welche Newton's Behauptung hätten beſtätigen können, bis die franzöſiſche Akademie der Wiſſenſchaften gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts eine wiſſenſchaftliche Expedition nach Peru und eine andere nach Lappland veranlaßte, um daſelbſt genaue Gradmeſſungen anzuſtellen. Die Gradmeſſung in Peru wurde von Bouguer und Condamine, die in Lappland wurde von Maupertuis, Clairaut und Outhier ausgeführt. Die Reſultate dieſer Meſſungen ſetzten die Abplattung der Erde außer Zweifel.

Als gegen Ende des vorigen Jahrhunderts der Nationalconvent in Frankreich ein neues Maß- und Gewichtsſyſtem einführen wollte, entſchied man ſich dahin, daß die neue Längeneinheit in einem einfachen Verhältniſſe zur Länge eines Erdmeridians ſtehen ſollte, und verordnete deshalb, daß eine neue möglichſt genaue Gradmeſſung ausgeführt werden ſollte, mit welcher Delambre und Mechain beauftragt wurden. Sie führten die Meſſung des Meridianbogens von Dünkirchen bis Barcelona aus. Später iſt auf demſelben Meridian noch der Bogen von Barcelona bis Formentera (durch Biot und Arago) und von Dünkirchen bis Greenwich gemeſſen worden. Auch dieſe Meſſungen haben gezeigt, daß in der That die Länge eines Breitegrades nach Norden hin zunimmt. Zwiſchen Formentera und Montjouy iſt die Länge eines Breitegrades 56955,4 Toiſen, zwiſchen Dünkirchen und Greenwich iſt ſie 57097,6 Toiſen.

Nachdem Delambre und Mechain ihre Messung beendigt hatten, wurde eine Commission von Gelehrten ernannt, um auf dieselbe das neue Maßsystem zu gründen. Die Commission combinirte diese in Frankreich ausgeführte Gradmessung mit den früher in Peru und Lappland erhaltenen Resultaten und folgerte daraus, daß der Erdmeridian eine Ellipse sei, deren Abplattung $^1/_{292}$ betrüge und deren vierter Theil (der Bogen vom Aequator bis zum Pol) 5 130 074 Toisen lang sei. Der zehnmillionste Theil des Erdmeridianquadranten wurde als Einheit des Längenmaßes angenommen und Meter genannt.

Das Meter wurde also zu 0,513 074 Toisen oder zu 3′ 11,296 Pariser Linien festgesetzt.

Seitdem hat man durch Discussion der älteren und neueren Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde ausgeführt worden waren, gefunden, daß die Abplattung der Erde größer sei, als die französischen Gelehrten angenommen hatten, daß sie $^1/_{299}$ betrage. Diese Modification im Werthe der Abplattung zieht eine entsprechende Aenderung in der Länge des Meridianquadranten nach sich, welcher in der That nicht 10 Millionen Meter, sondern 10 000 856 Meter lang ist.

Die halbe große Axe der Meridianellipse, also der Radius des Aequators, hat den erwähnten Messungen zufolge eine Länge von 6 377 398 Metern, die halbe kleine Achse dieser Ellipse aber, also die halbe Entfernung der beiden Erdpole beträgt 6 356 080 Meter. Der Unterschied zwischen beiden Halbmessern beträgt also 21 318 Meter.

Da 15 geographische oder deutsche Meilen auf einen Grad des Aequators gehen, so ist also der Umfang des Aequators 5400, der Aequatorialhalbmesser aber 860 deutsche Meilen. Der Polarhalbmesser ist ungefähr um 3 deutsche Meilen kleiner, als der Radius des Aequators.

Um sich eine deutliche Vorstellung von der Abplattung der Erde zu machen, denke man sich ein Umdrehungsellipsoid, dessen Aequatorialdurchmesser 1 Meter beträgt; es würde der Polardurchmesser, also die Umdrehungsaxe, ungefähr um 3 Millimeter kürzer sein müssen, wenn dieser Körper dem Erdellipsoid ähnlich sein sollte. Man begreift wohl, daß eine solche Abplattung dem bloßen Auge ganz unmerklich ist und daß genaue Messungen nöthig sind, um sie nachzuweisen.

Bedenkt man, daß der höchste Gipfel des Dhawalagiri nur 7820 Meter über der Meeresfläche liegt und daß der Chimborazo nur 6530 Meter hoch ist, so sieht man leicht, daß die Erhebungen der mächtigsten Gebirge kaum in Betracht kommen können im Vergleich zu den Dimensionen der Erde. Auf einem Erdglobus von 1 Meter Durchmesser dürften die Gebirgszüge des Himalaya in Asien und der Andes von Südamerika noch nicht die Höhe von 1 Millimeter erreichen, wenn das richtige Größenverhältniß eingehalten werden sollte.

21 **Axendrehung der Erde.** Im vorigen Capitel haben wir die tägliche Bewegung der Himmelskugel sammt allen Gestirnen kennen gelernt, und es ist nun die Frage, wie diese Erscheinung zu erklären sei. Auf den ersten

Anblick ſcheint es am einfachſten, dem unmittelbaren Eindrucke ſich hingebend, dieſe ſcheinbare Bewegung für eine wirkliche zu nehmen, d. h. alſo anzunehmen, daß die Erde feſtſtehe und daß ſich das ganze Himmelsgewölbe ſammt allen Geſtirnen in je 24 Stunden wirklich um die Weltaxe, und zwar in der Richtung von Oſt nach Weſt umdrehe.

Dieſe Anſicht war im Alterthume und durch das ganze Mittelalter hindurch wirklich die herrſchende. In dem Maße aber, als ſich die aſtronomiſchen Kenntniſſe erweiterten, wurde die Hypotheſe einer wirklichen täglichen Umdrehung der Himmelskugel mehr und mehr unwahrſcheinlich und mußte endlich der Lehre von der Axendrehung der Erde weichen.

In der That laſſen ſich alle Erſcheinungen der täglichen Bewegung der Geſtirne auch durch die Hypotheſe vollkommen erklären, daß ſich die Erde in 24 Stunden in der Richtung von Weſt nach Oſt, alſo der ſcheinbaren Bewegung des geſtirnten Himmels entgegen, um ihre Axe dreht.

Unterſuchen wir nun, welche Gründe gegen die wirkliche Rotation des Himmels und für die Axendrehung der Erde ſprechen.

Die Dimenſionen der Erde ſind verſchwindend klein gegen die Entfernung der Geſtirne von uns; wenn ſie alſo wirklich in 24 Stunden alle um die Erde herumlaufen ſollten, ſo müßte die Geſchwindigkeit dieſer Bewegung eine ganz enorme ſein.

Eine ſo große Geſchwindigkeit iſt an und für ſich wenig wahrſcheinlich, die Unwahrſcheinlichkeit wurde aber noch auffallender, nachdem man zu der Ueberzeugung gekommen war, daß es keineswegs ein feſtes Himmelsgewölbe gebe, an welchem alle Geſtirne gleichſam befeſtigt ſind, daß keineswegs alle Sterne gleich weit von uns entfernt, daß wenigſtens der Mond, die Sonne und die Planeten uns weit näher ſind als die Fixſterne; denn nun hätte man, um die Erſcheinungen der täglichen Bewegung ohne die Axendrehung der Erde zu erklären, annehmen müſſen, daß die Geſtirne in demſelben Maße ſchneller in ihren täglichen Bahnen fortlaufen, in welchem ſie weiter entfernt ſind.

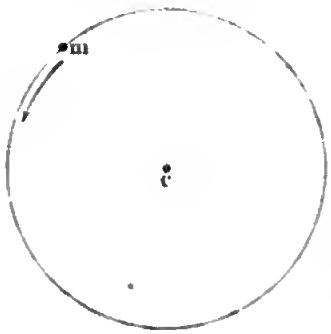
Die Unwahrſcheinlichkeit einer ſolchen Annahme ſtieg bis zur Abſurdität, nachdem man zu richtigen Vorſtellungen über die Größe und Entfernung der Geſtirne gekommen war. Das Volumen der Sonne iſt faſt $1\frac{1}{2}$ Millionen Mal größer, als das der Erde, und eine ſolche Maſſe ſollte in 24 Stunden einen Kreis durchlaufen, deſſen Halbmeſſer 20 Millionen Meilen iſt, während die winzige Erde ſich nicht einmal um ihre Axe dreht!?

Selbſt wenn wir der Fixſterne, welche noch unendlich weiter entfernt ſind als die Sonne, gar nicht gedenken, müßten ſolche Betrachtungen allein ſchon genügen, die Hypotheſe von einer wirklichen täglichen Bewegung der Geſtirne zu beſeitigen, während ſich für die Axendrehung der Erde noch weitere Beweiſe beibringen laſſen, die wir ſogleich näher betrachten wollen.

Wenn ſich die Erde wirklich um ihre Axe dreht, ſo muß ſich die Schwungkraft auf ihrer Oberfläche geltend machen, und zwar muß ſie um ſo bedeutender werden, je mehr man ſich dem Aequator nähert.

Ein Körper m, welcher den Punkt c umkreiſt (Fig. 42), äußert fortwährend ein Streben, ſich von dieſem Mittelpunkte zu entfernen, und zwar iſt

Fig. 42.



der Weg p, um welchen ſich m in einer Secunde von c entfernen würde, wenn andere Kräfte es nicht hinderten und ihn in der Kreisbahn zurückhielten, gleich $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$, wenn r den Halbmeſſer der Kreisbahn, t die Umlaufszeit in Secunden und π das Peripherieverhältniß 3,14 bezeichnet. Da $2\pi r$ gleich iſt dem Umfang des Kreiſes, den wir mit u bezeichnen wollen, ſo iſt auch

$$p = \frac{3{,}14 \,.\, u}{t^2}.$$

Der Umfang u des Kreiſes, welchen ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper bei jeder vollen Umdrehung der Erde um ihre Axe zurückzulegen hat, iſt nahezu gleich 40 000 000 Meter, die Umlaufszeit t = 24 Stunden = 98 400 Secunden, und alſo

$$p = \frac{3{,}14 \,.\, 40\,000\,000}{98\,400^2} = 0{,}017 \text{ Meter},$$

d. h. wenn ſich die Erde in 24 Stunden wirklich um ihre Axe dreht, ſo muß die dadurch entſtehende Schwungkraft ſo groß ſein, daß ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper ſich in einer Secunde um 0,017 Meter von dem Erdmittelpunkte entfernen würde, wenn die Schwere es nicht verhinderte.

In Folge der Axendrehung der Erde muß demnach der Weg, welchen ein frei fallender Körper in der erſten Fallſecunde durchläuft, am Aequator um 0,017 Meter kleiner ſein als an den Polen.

Der Fallraum der erſten Secunde in der Nähe der Pole beträgt 4,909 Meter; iſt derſelbe nun am Aequator in der That um 0,017 Meter kleiner, ſo wäre demnach die Kraft, mit welcher ein Körper gegen die Erdoberfläche niedergezogen wird, in Folge der Axendrehung am Aequator um $^1/_{289}$ kleiner als an den Polen.

Eine ſolche Verminderung der Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin findet aber in der That Statt. Beim freien Fall der Körper ſie nachzuweiſen, würde freilich ſchwer halten; wir beſitzen aber im Pendel ein viel empfindlicheres Mittel, die Intenſität der Schwere zu meſſen, und die Pendelverſuche beſtätigen dieſe Abnahme vollſtändig.

Im Jahre 1672 machte der franzöſiſche Aſtronom Richer eine wiſſenſchaftliche Reiſe nach Cayenne, welches nur 5° nördlich vom Aequator liegt. Als er hier ſeine Pendeluhr aufſtellte, deren Gang zu Paris genau war regulirt worden, fand er, daß ſie täglich $2^1/_2$ Minuten nachging; er mußte das Pendel nahe um $^3/_4$ Linien verkürzen, um den richtigen Gang wieder herzuſtellen. Es konnte dies um ſo weniger einer Störung der Uhr während der

Reiſe zugeſchrieben werden, als die Uhr, nach Paris zurückgebracht, nun wieder 148 Secunden täglich vorging, ſo daß das Pendel wieder auf ſeine urſprüngliche Länge gebracht werden mußte.

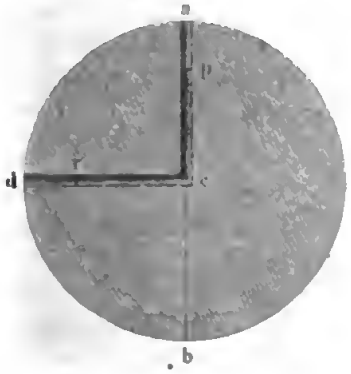
Man ſtellte ſpäter die genaueſten Beobachtungen in verſchiedenen Gegenden der Erde an, um die Länge des Secundenpendels zu ermitteln. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe ſolcher von Sabine gemachten Beſtimmungen.

Ort.	Breite.	Länge des Secundenpendels in Pariſer Zollen.
St. Thomas	0° 24′ 41″	39,012
Aſcenſion	7 55 48 S.	39,024
Jamaika	17 56 7 N.	39,039
New-York	40 42 43 N.	39,101
London	51 31 8 N.	39,139
Drontheim	63 25 54 N.	39,174
Spitzbergen	79 49 58 N.	39,215

Da nun die beſchleunigende Kraft der Schwere der Länge des Secundenpendels proportional iſt, ſo iſt durch dieſe Verſuche erwieſen, daß in der That die Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin abnimmt, und dieſe Abnahme iſt im Weſentlichen durch die von der Axendrehung der Erde herrührende Schwungkraft bedingt.

Die Abplattung der Erde ſelbſt, welche wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, iſt eine Folge ihrer Axendrehung. Um dies darzuthun, wollen wir uns die Erde zunächſt als eine feſte Kugel denken, in welcher ſich zwei Canäle ac und dc befinden, welche im Mittelpunkte der Erde zuſammentreffen, und von denen der eine beim Nordpol a, der andere an einem Punkte d des Aequators mündet (Fig. 43). Dieſe beiden Canäle ſeien nun mit Waſſer gefüllt, ſo werden beide Waſſerſäulen durch die Schwerkraft gegen den Mittelpunkt c hin angezogen, und zwar gleich ſtark, wenn keine Axendrehung ſtattfindet; in dieſem Falle werden die Waſſerſäulen cd und ca gleich hoch ſein müſſen, wenn Gleichgewicht ſtattfinden ſoll. In Folge der Rotation um die Axe ab wird aber der Zug der Schwere, den eine bei d befindliche Waſſerſchicht erleidet, wie wir geſehen haben, um $^1/_{292}$ vermindert.

Fig. 43.



Betrachten wir aber eine zweite in der Aequatorialröhre liegende Waſſerſchicht bei

r, welche nur $\frac{1}{n}$ ſo weit von c entfernt iſt wie d, ſo iſt hier freilich die Schwungkraft $n$mal geringer, allein auch die Kraft, mit welcher die Schicht r gegen c hin gezogen wird, iſt, wie ſich aus dem Geſetze der allgemeinen Maſſenanziehung ergiebt, $n$mal kleiner als das Gewicht einer gleichen Waſſerſchicht bei d; mithin iſt auch hier bei r der Zug der Schwere gegen c durch die Schwungkraft um $^1/_{292}$ kleiner, als ſie ohne die Rotation der Erde ſein würde, ſie iſt um $^1/_{292}$ kleiner als die Zugkraft, welche auf die gleich weit von c abſtehende Schicht p in der Polarröhre wirkt. Da nun daſſelbe für alle entſprechenden Schichten der beiden Röhren gilt, ſo iſt klar, daß in Folge der Axendrehung der Erde die Geſammtkraft, welche das Waſſer in der Röhre dc gegen den Erdmittelpunkt treibt, um $^1/_{292}$ kleiner iſt, als die entſprechende Kraft, welche auf das Waſſer in der Röhre ca wirkt, wenn alſo Gleichgewicht ſtattfinden ſoll, ſo muß die Waſſerſäule in der Aequatorialröhre cd um $^1/_{292}$ länger ſein als die Waſſerſäule in der Polarröhre ca.

Wäre die ganze Erde eine flüſſige, in 24 Stunden um ihre Axe rotirende Maſſe, ſo müßte offenbar zwiſchen dem Aequatorial- und dem Polarhalbmeſſer daſſelbe Größenverhältniß beſtehen, wie wir es eben für die Waſſerſäulen in den hypothetiſchen Röhren berechnet haben, oder, mit anderen Worten, die Erde müßte eine Polarabplattung von $^1/_{292}$ zeigen. Die auf dieſem Wege berechnete Abplattung ſtimmt beinahe vollſtändig mit der durch Gradmeſſungen ermittelten überein, und dieſe Uebereinſtimmung würde noch größer ſein, wenn man alle hier influirenden Umſtände bei der Rechnung berückſichtigt hätte. Es unterliegt demnach wohl keinem Zweifel, daß die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung iſt, und daß ſie zu der Zeit, als ſie ſich noch im flüſſigen Zuſtande befand, ſchon dieſelbe Axendrehung hatte wie gegenwärtig.

22 **Foucault's Pendelversuch.** Ein einfaches Pendel, welches in einer beſtimmten Ebene ſchwingt, wird ſeine Oſcillationsebene unverändert beibehalten, wenn nicht äußere Kräfte es aus derſelben verdrängen.

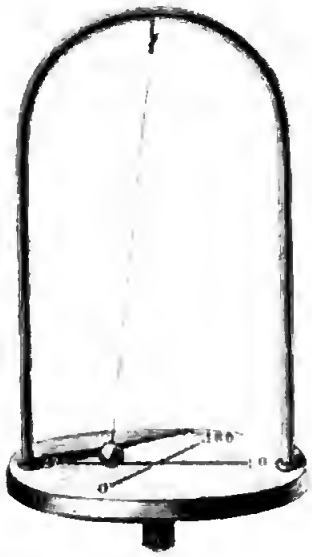
Es läßt ſich dies ſehr leicht mit Hülfe der Vorrichtung, Fig. 44, welche auf irgend eine verticale Umdrehungsaxe, etwa auf die einer Schwungmaſchine aufgeſteckt werden kann, bewerkſtelligen. Auf einem horizontalen runden Brette iſt ein Bügel von Metalldraht befeſtigt, von deſſen Mitte ein Faden herabhängt, welcher eine Bleikugel trägt. In ſeiner Gleichgewichtslage fällt dieſes einfache Pendel mit der Umdrehungsaxe des Apparates zuſammen.

Bringt man das Pendel in der Richtung der mit 0 — 180 bezeichneten Linie aus ſeiner Gleichgewichtslage, ſo wird es, alsdann ſich ſelbſt überlaſſen, über der Linie 0 — 180, alſo rechtwinklig zur Ebene des Bügels hin- und herſchwingen, ſo lange der ganze Apparat in Ruhe bleibt.

Wird aber die Scheibe um ihre verticale Axe langſam umgedreht, ſo wird die Schwingungsebene des Pendels deſſenungeachtet unverändert bleiben, es wird alſo der Reihe nach ein Durchmeſſer der Scheibe nach dem andern unter der Schwingungsebene des Pendels hindurchgehen. Nach einer Viertel-Um-

drehung der Scheibe nimmt der Durchmeſſer 90 — 270 dieſelbe Stellung ein, die urſprünglich 0 — 180 einnahm, in dieſem Augenblick wird alſo das Pendel in der Ebene des Bügels oſcilliren und in Beziehung auf die Scheibe erſcheint jetzt die Schwingungsebene des Pendels um 90° gedreht. Dauert die Drehung der Scheibe in gleicher Richtung fort, ſo wird allmälig der Quadrant von 90 — 180, dann der von 180 — 270 u. ſ. w. unter der Schwingungsebene des Pendels hingehen. In dem Maße, in welchem die Scheibe von der Rechten zur Linken gedreht wird, in dem Maße ſcheint ſich die Schwingungsebene des Pendels in Beziehung auf die Scheibe in entgegengeſetzter Richtung, alſo von der Linken zur Rechten zu drehen.

Fig. 41.



In demſelben Verhältniß, wie dieſes Pendel zur gedrehten Scheibe, würde ſich offenbar ein gerade über dem einen Pol, etwa dem Nordpol der Erde, aufgehängtes Pendel zur Erdoberfläche verhalten. Nehmen wir an, das Pendel werde in der Ebene der Meridiane 0 und 180° in Schwingung verſetzt, ſo wird es in dieſer Schwingungsebene, der Ebene alſo, welche die genannten Meridiane zu Anfang der Oſeillationen einnahmen, verharren, während die Ebene der Meridiane 0 — 180° ſelbſt ihre Stellung verändert, indem ſie ſich um die Erdaxe dreht, deren Verlängerung die Gleichgewichtslage des Pendels bildet.

Bei der fortdauernden Rotation der Erde werden der Reihe nach die verſchiedenen Meridiane unter der Schwingungsebene des Pendels durchpaſſiren; in Beziehung auf die Erdoberfläche ſcheint ſich alſo die Schwingungsebene des Pendels zu drehen und zwar in der Richtung von Oſt nach Weſt, weil die Erde in entgegengeſetzter Richtung rotirt.

Ein an irgend einer Stelle des Erdäquators aufgehängtes Pendel kann von einer ſolchen ſcheinbaren Drehung der Schwingungsebene natürlich nichts zeigen. Hat man auf dem Aequator ein Pendel etwa in der Ebene des Meridians in Schwingung verſetzt, ſo wird die Schwingungsebene auch im Meridian bleiben.

An allen zwiſchen dem Pol und dem Aequator befindlichen Punkten wird nun die Schwingungsebene des Pendels in Folge der Axendrehung der Erde eine ſolche Drehung zeigen müſſen, und zwar auf der nördlichen Hemiſphäre in der Richtung Oſt, Süd, Weſt u. ſ. w., auf der ſüdlichen aber in der Richtung Oſt, Nord, Weſt u. ſ. w. Die Größe dieſer Drehung wird in gleichen Zeiten um ſo bedeutender ſein, je näher man ſich dem einen Pole befindet.

Foucault war es, der zuerſt auf den glücklichen Gedanken kam, daß die ſcheinbare Drehung der Schwingungsebene eines einfachen Pendels eine noth-

wendige Folge der Umdrehung der Erde ſei, daß man alſo mittelſt eines ſolchen Pendels, welches ſtundenlang fortſchwingt, einen directen Beweis für die Axendrehung der Erde liefern kann.

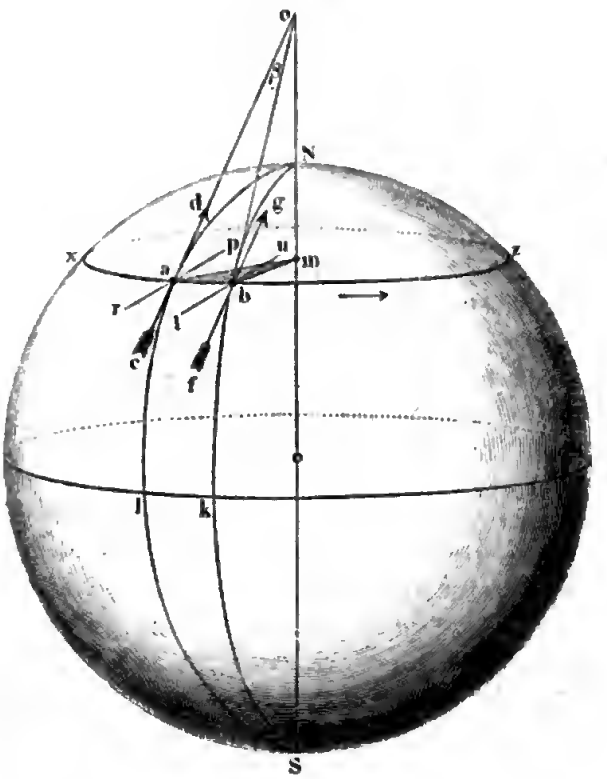
Der Verſuch beſtätigte ſeine Erwartung vollſtändig. Das erſte Pendel, mit dem er experimentirte, war nur 2 Meter lang und hatte eine 5 Kilogramm ſchwere Kugel. Nachdem er an demſelben die Erſcheinung zuerſt beobachtet hatte, wiederholte er den Verſuch mit einem 11 Meter langen Pendel im Meridianſaale der Pariſer Sternwarte und endlich mit einem Pendel von 67 Meter Länge im Pantheon zu Paris, welches zu Anfang des Jahres 1852 in hohem Grade das Intereſſe des großen Publicums erregte.

Die unten mit einer Spitze verſehene Kugel dieſes Pendels wog 28 Kilogramm und hing an einem Stahldraht. Bei dieſer Maſſe des Pendels ſind ſeine Schwingungen nach 5 bis 6 Stunden noch hinreichend groß, um deutlich beobachtet zu werden, wenn die Kugel urſprünglich etwa um 10 Fuß aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt worden war.

Unterſuchen wir nun, welches die Größe der ſcheinbaren Drehung der Schwingungsebene, welche am Pol offenbar 15° in der Stunde beträgt, für verſchiedene Orte der Erdoberfläche ſein muß.

Fig. 45 ſtelle die Erdkugel, NS die Umdrehungsaxe derſelben vor; es ſei ferner $xabz$ der Parallelkreis, auf welchem der Pendelverſuch angeſtellt wird, und m ſei der Mittelpunkt dieſes Parallelkreiſes.

Fig. 45.



Läßt man nun in a das Pendel ſchwingen, ſo wird die Linie, welche die Pendelkugel bei ihrem Hin- und Hergange beſchreibt, eine gerade Linie ſein (wenn man von der geringen Krümmung abſtrahirt), welche in der Horizontalebene von a liegt. Läßt man das Pendel gerade in der Richtung des Meridians, alſo in der Richtung ſchwingen, welche in unſerer Figur durch den Pfeil cd bezeichnet iſt, ſo iſt die verlängerte Schwingungslinie jedenfalls eine Tangente an den Meridian Nal. Dieſe Tangente ſchneidet die verlängerte Erdaxe in o. Der Winkel aom iſt die geographiſche Breite des Ortes a, welche wir mit φ bezeichnen wollen.

In Folge der Axendrehung der Erde gelangt aber der Punkt a nach einiger Zeit an die mit b bezeichnete Stelle und die in b an den Meridian gelegte Tangente hat jetzt die Lage bo, die Pendelkugel aber, welche vermöge der Trägheit ihre urſprüngliche Schwingungsrichtung beizubehalten ſtrebt, oſcillirt parallel mit cd in der Richtung fg, die Schwingungen des Pendels fallen alſo jetzt nicht mehr mit der Richtung des Meridians zuſammen, ſondern ſie machen mit demſelben einen Winkel gbo, deſſen Werth wir nun ermitteln wollen.

Der Winkel gbo und der Winkel aob ſind Wechſelwinkel, folglich iſt $gbo = boa$ (Fig. 45). Betrachten wir aber die Dreiecke abo und abm, welche die Seite ab gemeinſchaftlich haben, ſo iſt klar, daß ſich der Winkel amb (den wir mit α bezeichnen wollen) zu dem Winkel boa (der durch β bezeichnet ſein mag) verhält wie bo zu bm, oder daß

$$\alpha : \beta = bo : bm;$$

es iſt aber $bm = bo \,.\, sin.\, bom = bo \,.\, sin.\, \varphi$, folglich haben wir

$$\alpha : \beta = 1 : sin.\, \varphi,$$

$$\beta = \alpha \,.\, sin.\, \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Nun aber iſt β der Winkel, um welchen ſich die Schwingungsebene des Pendels gegen den Meridian gedreht hat, während der Beobachtungsort von a nach b gegangen iſt; α aber iſt der Winkel, um welchen ſich unterdeſſen die Erde gedreht hat, alſo der Winkel, um welchen ſich ein auf dem Pol aufgehängtes Pendel in derſelben Zeit gegen den Meridian gedreht haben würde. Nach der obigen Gleichung bei 1) erhält man alſo die Größe, um welche ſich die Schwingungsebene des Foucault'ſchen Pendels an irgend einem Orte in einer gegebenen Zeit drehen muß, wenn man die gleichzeitige Drehung des Polarpendels mit dem Sinus der geographiſchen Breite multiplicirt.

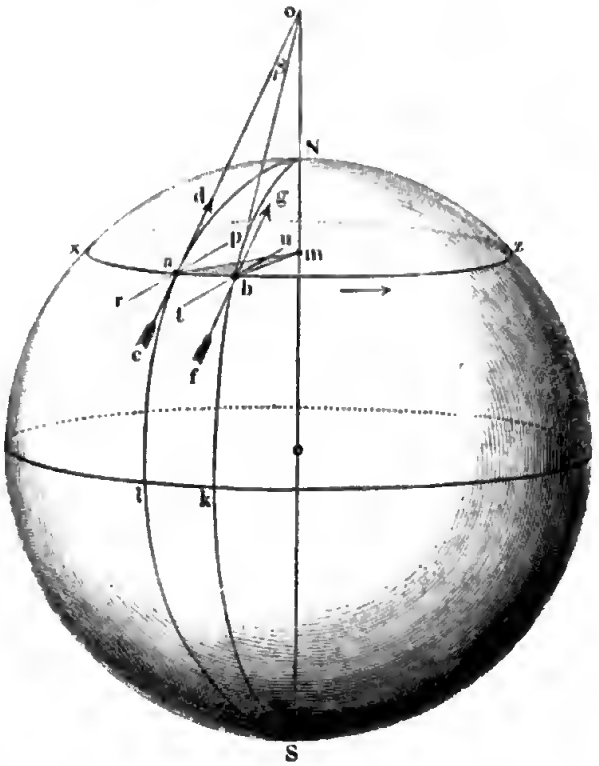
Da ſich nun die Schwingungsebene eines auf dem Pole aufgehängten einfachen Pendels in einer Stunde um 15^0 dreht, ſo iſt $15 \,.\, sin.\, \varphi$ die Anzahl der Grade, um welche ſich in einer Stunde die Schwingungsebene des Foucault'ſchen Pendels an einem Orte drehen muß, deſſen geographiſche Breite φ iſt.

Die fragliche Drehung der Schwingungsebene nimmt alſo ab mit der Entfernung vom Pol, ſie wird $= 0$ auf dem Aequator, weil hier $sin.\, \varphi = 0$. Die folgende Tabelle giebt für einige Orte die Drehung der Schwingungsebene des Foucault'ſchen Pendels während einer Stunde an:

Ort.	Geograph. Breite.		Größe der Drehung in einer Stunde.
Nordpol	90°	—	15°
Königsberg	54°	42′	12,83
München	48	8	11,31
Rom	41	54	10,16
Mexico	19	25	5,04
Cayenne	4	56	1,31

Wir waren in obiger Demonſtration der Einfachheit der Betrachtung wegen von der Annahme ausgegangen, daß die Schwingungsebene des Pendels in a urſprünglich in der Richtung des Meridians ſtattfinde; es iſt übrigens durchaus nicht nöthig, daß man gerade von dieſer Schwingungsrichtung ausgehe. Nehmen wir an, das Pendel ſchwinge urſprünglich in der Richtung rp (Fig. 46), welche

Fig. 46.



einen Winkel pad mit dem Meridian macht, ſo wird, wenn der Beobachtungsort von a nach b gelangt iſt, nun die Schwingungsrichtung tu des Pendels einen Winkel ubo mit dem Meridian machen, welcher um gbo, alſo um β größer

iſt als pad, die Schwingungsebene hat ſich alſo auch jetzt ſcheinbar um den Winkel β nach Oſten gedreht, alſo gerade ſo viel, als ob die Schwingungen in der Meridianebene begonnen hätten.

Obgleich die Axendrehung der Erde ſchon vorher zu den unzweifelhafteſten Lehren der Phyſik gezählt wurde, ſo erregte doch der Foucault'ſche Pendelverſuch in der ganzen phyſikaliſchen Welt das größte Intereſſe; er wurde an vielen Orten wiederholt und überall beſtätigt gefunden, wo man hinreichend lange Pendel mit genügender Sorgfalt aufgehängt und Alles beſeitigt hatte, was ſtörend auf die Regelmäßigkeit des Ganges hätte einwirken können.

Zu den gelungenſten Wiederholungen des Foucault'ſchen Pendelverſuchs in Deutſchland ſind beſonders die von Schwerd im Speyerer und die von Garthe im Kölner Dome angeſtellten zu rechnen.

Drittes Capitel.

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

23 **Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe.** Daß die Sonne ihre Stelle am Fixsternhimmel fortwährend ändert, geht schon aus der oberflächlichsten Beobachtung hervor. Während sie nämlich gegen Ende März gerade im Osten aufgeht, geht sie im Sommer weit mehr nördlich, im Winter weit mehr südlich auf. Im Sommer ist ihr Tagbogen, im Winter ist ihr Nachtbogen größer, und daraus folgt, daß sie während des Sommers nördlich, während des Winters südlich vom Himmelsäquator steht. Aber nicht allein rechtwinklig zu dem Aequator bewegt sich die Sonne, sondern auch parallel mit demselben, was daraus hervorgeht, daß zu derselben Tageszeit in verschiedenen Jahreszeiten immer andere Sterne culminiren, wie wir bereits S. 17 gesehen haben.

Am 10. Januar culminiren um Mitternacht: Castor und Pollux im Sternbild der Zwillinge und Procyon im Sternbild des kleinen Hundes. Daraus folgt, daß die Rectascension der Sonne um diese Zeit um 180° größer ist, als die der genannten Sterne, daß sie also der Sternkarte Tab. IV. zufolge ungefähr 294° beträgt. Da nun ferner am 10. Januar die südliche Declination der Sonne ungefähr 20° ist, so lehrt ein Blick auf die erwähnte Karte, daß um diese Zeit die Sonne im Sternbild des Schützen steht. Daß also Leyer, Schwan, Adler u. s. w. diejenigen Sternbilder sind, welche gerade an dem bezeichneten Tage zur Mittagszeit dem Meridian nahe stehen.

Die Bahn, welche die Sonne am Himmel zurücklegt und welche den Namen der Ekliptik führt, ergiebt sich ganz einfach, wenn man nach der in Cap. I. §. 12 entwickelten Methode in bestimmten Zeitintervallen, etwa von Tag zu Tag, die Rectascension und Declination der Sonne bestimmt.

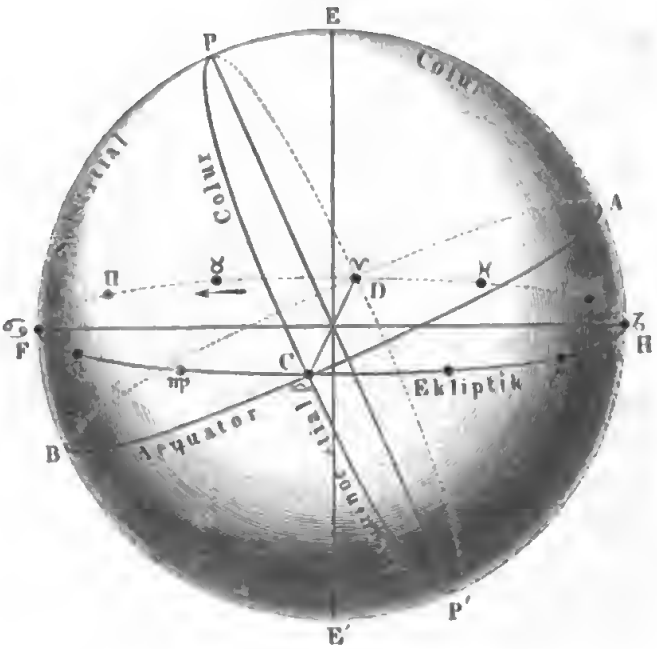
Die folgende Tabelle giebt die Rectascension und Declination der Sonne für das Jahr 1855 von 8 zu 8 Tagen, und zwar im Moment des wahren Berliner Mittags.

Tag.	Rectaſcenſion.		Declination.		
1. Januar	18h	45,8'	23°	2,5'	ſüdlich
9. »	19	21,0	22	9,2	»
17. »	19	55,5	20	48,3	»
25. »	20	29,4	19	2,1	»
2. Februar	20	58,2	17	10,9	»
10. »	21	34,4	14	26,5	»
18. »	22	5,6	11	43,8	»
26. »	22	36,2	8	49,4	»
6. März	23	6,1	6	9,8	»
14. »	23	35,5	2	38,9	»
22. »	0	4,7	0	30,7	nördlich
30. »	0	33,8	3	38,9	»
7. April	1	2,9	6	42,6	»
15. »	1	32,3	9	39,1	»
23. »	2	2,0	12	25,5	»
1. Mai	2	32,2	14	58,8	»
9. »	3	3,0	17	16,3	»
17. »	3	34,5	19	15,5	»
25. »	4	6,5	20	42,7	»
2. Juni	4	39,0	22	9,2	»
10. »	5	11,9	23	0,0	»
18. »	5	45,1	23	25	»
26. »	6	18,4	23	23,5	»
4. Juli	6	57,5	22	55,9	»
12. »	7	24,3	22	2,7'	»
20. »	7	56,7	20	45,2	»
28. »	8	28,4	19	5,5	»
5. Auguſt	8	59,5	17	5,6	»
13. »	9	30,0	14	48,0	»
21. »	9	59,9	12	15,2	»
29. »	10	29,3	9	30,0	»
6. Septembr.	10	58,3	6	35,2	»
14. »	11	27,1	3	33,3	»
22. »	11	55,8	0	27,3	»
30. »	12	24,6	2	39,9	ſüdlich
8. Octbr.	12	53,7	5	45,4	»
16. »	13	23,3	8	46,2	»
24. »	13	53,5	11	39,0	»
1. Novbr.	14	24,4	14	20,4	»
9. »	14	56,1	16	49,2	»
17. »	15	28,8	18	55,7	»
25. »	16	2,3	20	42,5	»
3. Decbr.	16	36,7	22	4,7	»
11. »	17	11,7	22	59,7	»
19. »	17	47,1	23	25,6	»
27. »	18	22,6	23	21,5	»

Nach obiger Tabelle ſind die Sonnenorte der genannten Tage in der Sternkarte Tab. IV. eingetragen und durch eine krumme Linie verbunden. Bei genauerer Unterſuchung ergiebt ſich nun, daß die Bahn, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf dem Himmelsgewölbe durchläuft, ein größter Kreis iſt, wie man am leichteſten überſieht, wenn man die Sonnenorte der obigen Tabelle nicht in einer ebenen Himmelskarte, ſondern auf einem Himmelsglobus aufträgt.

Fig. 47 dient dazu, die gegenſeitige Lage des Himmelsäquators und der Ekliptik anſchaulich zu machen. PP' iſt die Axe der Himmelskugel, $ACBD$

Fig. 47.



iſt der Aequator, $HCFD$ die Ekliptik. Dieſe beiden Kreiſe ſchneiden ſich in den Punkten D und C, welche den Namen die Aequinoctialpunkte führen, weil in der Zeit, wo die Sonne ſich in denſelben, alſo auf dem Himmelsäquator befindet, Tag und Nacht gleich ſind. Den einen dieſer Punkte paſſirt die Sonne am 21. März, den anderen am 22. September.

Aus der Sternkarte Tab. IV. erſehen wir, daß der Punkt, in welchem die Sonne am 21. März den Aequator paſſirt, im Sternbild der Fiſche liegt. Dies iſt der Punkt des Frühlingsäquinoctiums, der Punkt, von welchem aus die Rectaſcenſion der Geſtirne gezählt wird. Man nennt dieſen Punkt auch kurz den Frühlingspunkt.

Der Punkt des Herbſtäquinoctiums, der Herbſtpunkt, welchen die Sonne am 22. September paſſirt, liegt im Sternbild der Jungfrau. Vom 21. März bis zum 22. September bleibt die Sonne auf der nördlichen Hemiſphäre des Himmels; am 22. September tritt ſie auf die ſüdliche Halbkugel, welche ſie erſt am 21. März wieder verläßt.

Am 22. Juni erreicht die Sonne ihre größte nördliche, am 22. December ihre größte südliche Declination von 23° 28′, woraus sich ergiebt, daß der Winkel, welchen die Ebene der Ekliptik mit der Ebene des Aequators macht, 23° 28′ beträgt. Dieser Winkel wird die Schiefe der Ekliptik genannt.

Die Punkte F und H, Fig. 47, in welchen die Sonne ihre größte nördliche und ihre größte südliche Declination erreicht, heißen die Punkte der Sonnenwende- oder die Solstitialpunkte.

Die Kreise $PDP'C$ und $PBP'A$, Fig. 47, werden Coluren genannt, und zwar ist der Kreis, welcher durch die beiden Himmelspole und die Aequinoctialpunkte C und D geht, der Aequinoctialcolur, während der Kreis, welcher durch die Himmelspole und die Solstitialpunkte F und H geht, der Solstitialcolur genannt wird.

Die Ebenen der beiden Coluren machen einen Winkel von 90° mit einander.

Pol der Ekliptik, Länge und Breite am Himmel. Je zwei 24
größte Kreise der Himmelskugel, welche rechtwinklig auf der Ekliptik stehen, schneiden sich in den Punkten E und E', welche sich zu der Ekliptik gerade so verhalten, wie der Nord- und Südpol des Himmels zu dem Himmelsäquator; diese Punkte sind die Pole der Ekliptik.

Da der Solstitialcolur auch rechtwinklig auf der Ekliptik steht, so müssen die Pole der Ekliptik nothwendig auf dem Solstitialcolur liegen, und zwar stehen sie auf diesem Solstitialcolur um 90° von den Solstitialpunkten F und H der Ekliptik ab, sie liegen also 23° 28′ von den Polen P und P' des Aequators entfernt.

Der nördliche Pol der Ekliptik liegt in dem Sternbilde des Drachen; in der Sternkarte Tab. III. ist er besonders bezeichnet.

Die Ekliptik kann zur Ortsbestimmung auf der Himmelskugel ebenso dienen, wie der Himmelsäquator. Denkt man sich durch irgend einen Stern und den Pol der Ekliptik einen größten Kreis gelegt, so heißt das Bogenstück zwischen dem Stern und der Ekliptik die Breite des Sternes; man kann die Breite eines Sternes auch als den Winkelabstand derselben von der Ekliptik bezeichnen.

Die Länge des Sternes aber ist der auf der Ekliptik nach Osten gezählte Bogen vom Frühlingspunkte an bis zu dem Punkte, in welchem der durch den Stern und den Pol der Ekliptik gelegte größte Kreis die Ekliptik schneidet.

Man sieht also, daß Länge und Breite für die Himmelskugel eine andere Bedeutung haben, als für die Erdkugel. Auf der Erdkugel werden die Längen auf dem Aequator, auf der Himmelskugel werden sie auf der Ekliptik abgelesen.

Da sich die Sonne auf der Ekliptik nach Osten hin fortbewegt, so nimmt ihre Breite von Tag zu Tag zu, bis sie zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums wieder in dem Punkte anlangt, von welchem aus die Länge gezählt wird, nämlich im Frühlingspunkte.

Die folgende Tabelle giebt die Länge der Sonne von 8 zu 8 Tagen für den wahren Berliner Mittag im Jahre 1855:

Tag.	Länge.	Tag.	Länge.	Tag.	Länge.
1. Januar.	280° 32,6′	1. Mai.	40° 29,6′	6. Septbr.	163° 15,8′
9. »	288 41,7	9. »	48 14,0	14. »	171 3,0
17. »	296 50,7	17. »	55 57,0	22. »	178 52,1
25. »	304 59,1	25. »	63 38,4	30. »	186 43,1
2. Februar.	313 6,4	2. Juni.	71 18,3	8. Octbr.	194 36,5
10. »	321 12,4	10. »	78 57,4	16. »	202 32,1
18. »	329 17,2	18. »	86 35,9	24. »	210 29,8
26. »	337 20,2	26. »	94 13,7	1. Novbr.	218 29,4
6. März.	345 21,1	4. Juli.	101 51,2	9. »	226 31,2
14. »	353 20,1	12. »	109 28,9	17. »	234 34,9
22. »	1 17,2	20. »	117 7,0	25. »	242 40,0
30. »	9 11,9	28. »	124 45,5	3. Decbr.	250 46,5
7. April.	17 4,4	5. Auguſt.	132 24,8	11. »	258 54,3
15. »	24 54,9	13. »	140 5,5	19. »	267 2,9
23. »	32 43,3	21. »	147 47,4	27. »	275 11,9
		29. »	155 30,7		

Da die Sonne die Ekliptik nicht genau in 365 Tagen durchläuft, ſondern dazu nahe $365\frac{1}{4}$ Tag braucht, ſo wird ſie auch am Mittag eines beſtimmten Tages nicht genau an derſelben Stelle der Ekliptik ſtehen, an welcher ſie ſich an dem Mittag deſſelben Tages im vorigen Jahre befand. So war z. B. die Länge der Sonne zur Zeit des wahren Berliner Mittags am 22. März 1854 gleich 1° 31,5′. Am Mittag des 22. März 1855 hat ſie dieſen Punkt noch nicht wieder erreicht, da ihre Länge zu dieſer Zeit nur 1° 17,2′ beträgt. Daraus ergiebt ſich nun, daß auch Rectaſcenſion und Declination der Sonne, für den wahren Mittag der gleichen Monatstage in verſchiedenen Jahren nicht dieſelbe ſein kann.

Auf dieſe Weiſe würde die Länge der Sonne für den gleichen Jahrestag fortwährend abnehmen, wenn man nicht alle vier Jahre durch Einſchaltung eines Tages (Schalttag) eine Ausgleichung zu Stande brächte, von welcher weiter unten ausführlicher die Rede ſein ſoll.

Die aſtronomiſchen Jahrbücher oder Ephemeriden, welche ſtets auf einige Jahre voraus berechnet werden, enthalten für jeden Tag des Jahres und zwar für den wahren Mittag der Sternwarte, auf welche ſie ſich beziehen, die Länge, die Rectaſcenſion und die Declination der Sonne bis auf Bruchtheile von Secunden genau.

Der Thierkreis. Die Sternbilder, welche die Sonne durchläuft, ſind 25
Tab. IV. der Reihe nach: die Fiſche, der Widder, der Stier, die Zwillinge, der Krebs und der Löwe auf der nördlichen, die Jungfrau, die Wage, der Scorpion, der Schütze, der Steinbock und der Waſſermann auf der ſüdlichen Hemiſphäre des Himmels.

Der Gürtel dieſer zwölf von der Sonnenbahn durchſchnittenen Sternbilder wird der Thierkreis oder der Zodiacus genannt.

Früher theilte man die Ekliptik zuerſt in zwölf gleiche Theile und dann jeden derſelben wieder in 30°, wodurch dann ebenfalls die 360° herauskommen. Dieſe zwölf Theile nennt man die Zeichen der Ekliptik. Dieſe Zeichen führen die Namen benachbarter Sternbilder des Thierkreiſes, und zwar heißen ſie vom Frühlingspunkte an nach Oſten gerechnet:

♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍

Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau

auf der nördlichen Hemiſphäre; die Zeichen der ſüdlichen Halbkugel aber ſind:

♎ ♏ ♐ ♑ ♒ ♓

Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Waſſermann, Fiſche.

Auf Tab. IV. iſt der Anfangspunkt eines jeden dieſer zwölf Zeichen durch die ihm entſprechende Figur angedeutet.

Das Zeichen des Widders entſpricht alſo der Länge von 0 bis 30°, das Zeichen des Stiers von 30° bis 60°. Das Zeichen der Wage erſtreckt ſich vom 180. bis 210. Längengrade u. ſ. w.

Man ſieht, daß die Zeichen der Ekliptik mit den gleichnamigen Sternbildern nicht zuſammenfallen. Die Sonne befindet ſich im Zeichen des Widders, während ſie im Sternbilde der Fiſche ſteht; wenn ſie in das Sternbild des Widders übergeht, ſo tritt ſie in das Zeichen des Stiers u. ſ. w., kurz, jedes Zeichen der Ekliptik führt den Namen des nach Oſten hin an daſſelbe gränzenden Sternbildes. Wenn die Sonne ſich im Zeichen des Krebſes befindet, ſo ſteht ſie im Sternbilde der Zwillinge.

Woher dieſe Verſchiedenheit zwiſchen Zeichen und Sternbild rührt, das werden wir in einem ſpätern Capitel ſehen.

Wahre und mittlere Sonnenzeit. Die Sonne ſchreitet auf der 26
Ekliptik in der Richtung von Weſten nach Oſten voran, alſo der täglichen Bewegung der Geſtirne entgegen. Daher kommt es denn, daß, wie bereits in §. 3 angeführt wurde, der Sonnentag länger iſt als der Sterntag; denn wenn heute die Sonne gleichzeitig mit einem beſtimmten Sterne culminirt, ſo wird bis zu dem Momente, in welchem derſelbe Stern morgen wieder culminirt, die Sonne etwas nach Oſten hin fortgeſchritten ſein, alſo etwas ſpäter als der fragliche Stern in den Meridian treten.

Es iſt nun leicht, das auf S. 10 bereits angegebene Verhältniß zwiſchen Sternzeit und mittlerer Sonnenzeit zu berechnen. Die Zeit, welche die Sonne braucht, um, vom Frühlingspunkte ausgehend, wieder in demſelben

anzukommen, die Zeit alſo, welche die Sonne braucht, um die ganze Ekliptik einmal zu durchlaufen, nennen wir das Jahr. Das Jahr hat (annähernd) 365 Tage; auf dieſe 365 Tage kommen aber 366 Sterntage, da ja die Sonne während dieſer Zeit gerade einmal um den Himmel herumgegangen iſt. Das Verhältniß des Sonnentages zum Sterntage iſt alſo $\frac{366}{365} = 1{,}00274$, und daraus folgt, daß 1 Stunde Sonnenzeit gleich iſt $1^h\ 0'\ 9{,}8''$ Sternzeit, wie bereits oben angegeben wurde.

Während nun ein Sterntag dem andern vollkommen gleich iſt, haben die Sonnentage keineswegs eine gleiche Dauer. Wenn alle Sonnentage gleich ſein ſollten, ſo müßte die Aenderung in der Rectaſcenſion der Sonne von einem Tage zum andern das ganze Jahr hindurch vollkommen gleich bleiben. Das iſt aber nicht der Fall, wie man aus der Tabelle auf Seite 69 leicht erſehen kann. Vom 12. bis zum 20. Juli z. B. ändert ſich die gerade Aufſteigung der Sonne um 32,4 Minuten, während ſie vom 19. bis zum 27. December um 35,5 Minuten zunimmt, woraus man entnehmen kann, daß die Zeit, welche von einer Culmination der Sonne bis zur folgenden vergeht, im December etwas größer iſt als im Juli.

Zwei Urſachen wirken hier zuſammen, um die erwähnte Ungleichheit der Sonnentage hervorzubringen. Dieſe Urſachen ſind:

1) Daß die Ekliptik nicht mit dem Himmelsäquator parallel liegt. Wenn ſich auch die Sonne in der Ekliptik mit ſtets gleicher Geſchwindigkeit fortbewegte, ſo würde doch einem und demſelben Wegſtücke zur Zeit der Aequinoctien, wo die Sonnenbahn einen bedeutenden Winkel mit dem Aequator bildet, eine geringere Aenderung in der Rectaſcenſion entſprechen, als zur Zeit der Solſtitien, wo die Sonne faſt parallel mit dem Aequator fortſchreitet (ſiehe die Sternkarte Tab. IV.).

2) Daß die Sonne ſich auch nicht in der Ekliptik mit gleichförmiger Geſchwindigkeit bewegt, ſondern zur Zeit unſeres Winters ſchneller fortſchreitet als während unſeres Sommers. Um ſich davon zu überzeugen, meſſe man z. B. auf der Sternkarte Tab. IV. den Weg, den die Sonne vom 2. bis zum 26. Juni zurücklegt, und man wird finden, daß er merklich kleiner iſt als das Bahnſtück vom 1. bis 25. Januar.

Daſſelbe erſieht man auch aus der Tabelle auf Seite 72. Vom 4. bis 12. Juli wächſt die Länge der Sonne nur um $7^0\ 37{,}7'$, während ſie vom 1. bis 9. Januar um $8^0\ 9{,}1'$ zunimmt. Am ſchnellſten wächſt die Länge der Sonne am 1. Januar, wo der in 24 Stunden beſchriebene Bogen der Ekliptik $1^0\ 1'\ 10{,}1''$ beträgt, während zur Zeit des langſamſten Fortſchreitens, am 1. Juni, der in 24 Stunden von der Sonne beſchriebene Bogen nur $57'\ 11{,}8''$ beträgt.

Eine Folge davon, daß die Sonne in ihrer Bahn mit ungleicher Geſchwindigkeit fortſchreitet, iſt auch die, daß ſie eine längere Zeit braucht, um die nördliche Hälfte der Ekliptik zu durchlaufen, als ſie braucht, um vom Herbſtpunkte aus zum Frühlingspunkte zurückzukehren. Vom 21. März bis zum 22. September ſind 186 Tage, vom 22. September bis zum 21. März ſind ihrer nur

179, die Sonne verweilt alſo auf der nördlichen Halbkugel des Himmels volle 7 Tage länger als auf der ſüdlichen.

Was die Urſache dieſer Ungleichheiten iſt, werden wir ſpäter unterſuchen. Hier haben wir es zunächſt nur mit der ungleichen Dauer der Sonnentage zu thun.

Es iſt klar, daß ſich im bürgerlichen Leben alle Zeiteintheilung nach der Sonne richten muß, weil die Abwechſelung von Tag und Nacht maßgebend iſt für die Eintheilung aller Beſchäftigungen des bürgerlichen Lebens, wie ja auch im Thier- und Pflanzenleben die Abwechſelung von Tag und Nacht eine bedeutende Rolle ſpielt.

So lange man noch mit mechaniſchen Uhren von geringer Genauigkeit zu thun hatte, war kein Anſtand, da ſie doch öfters gerichtet werden mußten, dieſe Uhren alle paar Tage nach der Sonne zu ſtellen; ob man ſie einmal etwas ſchneller, dann wieder langſamer mußte laufen laſſen, ob man ſie etwas mehr oder weniger verſtellte, das war gleichgültig. Aſtronomiſche Uhren aber, wie überhaupt gute Uhren, bei welchen ein möglichſt gleichförmiger Gang die erſte Bedingung iſt, können unmöglich nach wahrer Sonnenzeit gerichtet werden.

Um aber doch den Sonnentag der Hauptſache nach als Zeiteinheit beizubehalten, und dennoch ein gleichförmiges Zeitmaß zu haben, hat man ſtatt des wahren veränderlichen, einen mittleren Sonnentag von ſtets gleichbleibender Länge eingeführt. Denkt man ſich die Dauer eines gewöhnlichen Jahres von 365 Tagen in 365 vollkommen gleiche Theile getheilt, ſo iſt ein ſolcher Theil der mittlere Sonnentag.

Eine ſchärfere Definition des mittleren Sonnentages iſt folgende. Denkt man ſich eine Sonne, welche mit vollkommen gleichförmiger Geſchwindigkeit den Himmelsäquator in derſelben Zeit durchläuft, welche die wahre Sonne braucht, um die Ekliptik zu durchlaufen, ſo iſt die Zeit von einer Culmination dieſer eingebildeten Sonne bis zur nächſten der mittlere Sonnentag.

Die wahren Sonnentage ſind nun bald etwas länger, bald etwas kürzer, als der mittlere, der wahre Mittag iſt alſo vor dem mittleren bald etwas voraus, bald bleibt er etwas gegen denſelben zurück. Der Zeitunterſchied zwiſchen dem mittleren und wahren Mittag wird die Zeitgleichung genannt.

Der numeriſche Werth der Zeitgleichung für die einzelnen Tage des Jahres hängt davon ab, für welchen Moment man annimmt, daß die fingirte Sonne gleiche Rectaſcenſion mit der wahren habe. Man hat für dieſen Moment die Zeit angenommen, in welcher die Rectaſcenſion der wahren Sonne am ſchnellſten wächſt (24. December), und ſo ergeben ſich denn von 8 zu 8 Tagen folgende Werthe der Zeitgleichung:

Monatstag.	M. Z. — W. Z.	Monatstag.	M. Z. — W. Z.
1. Januar.	+ 3′ 43″	4. Juli.	+ 3′ 57″
9. »	+ 7 17	12. »	+ 5 12
17. »	+ 10 18	20. »	+ 6 0
25. »	+ 12 34	28. »	+ 6 12
2. Februar.	+ 13 59	5. Auguſt.	+ 5 46
10. »	+ 14 31	13. »	+ 4 42
18. »	+ 14 14	21. »	+ 3 4
26. »	+ 13 13	28. »	+ 1 12
6. März.	+ 11 34	6. September.	— 1 37
14. »	+ 9 30	14. »	— 4 21
22. »	+ 7 9	22. »	— 7 10
30. »	+ 4 41	30. »	— 9 53
7. April.	+ 2 17	8. October.	— 12 18
15. »	+ 0 7	16. »	— 14 16
23. »	— 1 40	24. »	— 15 39
1. Mai.	— 2 59	1. November.	— 16 16
9. »	— 3 44	9. »	— 16 3
17. »	— 3 52	17. »	— 14 56
25. »	— 3 24	25. »	— 12 56
2. Juni.	— 2 26	3. December.	— 10 8
10. »	— 1 1	11. »	— 6 41
18. »	+ 0 39	19. »	— 2 49
26. »	+ 2 22	27. »	+ 1 9

Das Zeichen + zeigt an, daß der mittlere Mittag früher, das Zeichen —, daß er ſpäter iſt als der wahre.

Den größten negativen Werth hat die Zeitgleichung am 3. November, wo ſie gleich — 16′ 18,5 Secunden iſt; den größten poſitiven Werth, + 14′ 31,3‴ hat ſie am 11. Februar. In der Mitte des Februar iſt alſo der mittlere Mittag faſt $^1/_4$ Stunde früher, zu Anfang des November etwas mehr als $^1/_4$ Stunde ſpäter als die Culmination der Sonne.

Ein Uebergang aus dem poſitiven ins negative Zeichen findet Statt am 15. April und 1. September, ein Uebergang aus dem negativen ins poſitive aber am 15. Juni und am 24. December.

Man bedient ſich jetzt auch im bürgerlichen Leben allgemein der mittleren Sonnenzeit, die man aber mit Hülfe der Zeitgleichung jederzeit leicht aus Sonnenbeobachtungen ableiten kann.

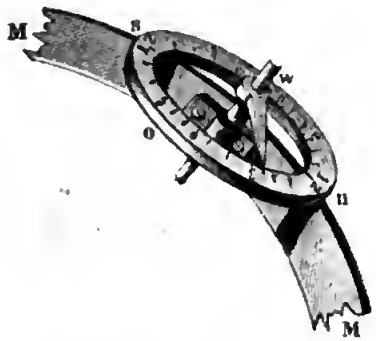
27 **Anblick des Himmels in den Nachtstunden verschiedener Monate.** Jetzt, da wir die Wanderung der Sonne durch die Sternbilder des

Thierkreiſes kennen gelernt haben, ergiebt es ſich von ſelbſt, warum man zu derſelben Stunde der Nacht in verſchiedenen Monaten nicht dieſelben Sternbilder an derſelben Stelle des Himmels erblickt, wie dies bereits beſprochen wurde. Welche Sterne in einer gegebenen Stunde eines gegebenen Tages culminiren, iſt aber leicht zu ermitteln, wenn man die Rectaſcenſion der Sonne für dieſen Tag kennt. Man hat nämlich nur vom Stundenkreiſe, welchem für dieſen Tag die Sonne angehört, auf dem Aequator ſo viele Stunden weiter nach Oſten zu zählen, als ſeit der Culmination der Sonne verfloſſen ſind. Es wird z. B. gefragt, welche Sterne culminiren am 24. October Abends 6 Uhr? Am 24. October iſt die Rectaſcenſion der Sonne $13^h\ 53'$. Um 6 Uhr Abends ſind 6 Stunden vergangen, ſeit die Sonne durch den Meridian ging, es culminiren alſo um dieſe Zeit diejenigen Sterne, deren gerade Aufſteigung $13^h\ 53' + 6^h = 20^h\ 53'$ iſt. Das Sternbild des Delphins und α cygni haben alſo ungefähr vor 20 Minuten den Meridian paſſirt, da ihre Rectaſcenſion $20^h\ 32'$ iſt.

Welches der Anblick des Himmels zu einer gegebenen Zeit iſt, läßt ſich am leichteſten mit Hülfe eines Himmelsglobus überſehen, wenn derſelbe mit einem ſogenannten Stundenringe verſehen iſt. In Fig. 4, Seite 9, iſt der Stundenring des kleinen Maßſtabes wegen ganz weggelaſſen, die Einrichtung deſſelben iſt aber aus Fig. 48 zu erſehen.

Der Stundenring *swno* iſt auf dem meſſingenen Meridianringe *MM* befeſtigt und in 24 gleiche Theile getheilt, welche den einzelnen Stunden entſprechen. Die Theilſtriche bei *s* und *n* ſind mit 12 bezeichnet und dann die Stunden von *s* über *w* bis *n* und von *n* über *o* bis *s* gezählt.

Fig. 48.



Die Axe, um welche ſich der ganze Globus dreht, befindet ſich im Mittelpunkte dieſes Stundenringes und trägt einen Zeiger, welcher auf derſelben feſtſteckt, aber ſich mit einiger Reibung um denſelben drehen läßt.

Um nun den Globus einer gegebenen Zeit entſprechend zu ſtellen, dreht man ihn zunächſt ſo, daß der Ort des Himmels, an welchem die Sonne eben ſteht, gerade unter den Meridianring *M* zu ſtehen kommt, ſtellt dann den Zeiger auf 12 Uhr Mittags (der mit 12 bezeichnete Theilſtrich bei *s*) und dreht nun den ganzen Globus ſammt dem Zeiger ſo weit, bis letzterer die fragliche Stunde zeigt.

Soll z. B. der Globus ſo geſtellt werden, wie es dem 17. Mai Abends 10 Uhr entſpricht, ſo ſtellt man den Globus ſo, daß der auf dem Aequator mit $3^h\ 35'$ bezeichnete Punkt (Rectaſcenſion der Sonne am genannten Tage nach der Tabelle auf S. 69), alſo der Punkt des Aequators, welcher $53{,}7^o$ öſtlich vom Frühlingspunkte liegt, gerade im Meridian ſteht, daß alſo die Plejaden culminiren, und dreht dann die Kugel ſammt Zeiger um 10 Stunden, die man auf dem Stundenringe abliest, nach Weſten. Man ſieht dann, daß das Sternbild

der Jungfrau im Süden culminirt (Spica ſteht faſt im Meridian), und daß die Sternbilder Caſſiopeia und Andromeda den Meridian in unterer Culmination paſſiren; der große Löwe ſteht am ſüdweſtlichen, Leyer und Schwan am nordöſtlichen Himmel.

28 **Beſtimmung des Stundenwinkels eines Sternes für einen gegebenen Augenblick.** In vielen Fällen iſt es wichtig, aus den Angaben der aſtronomiſchen Jahrbücher für jeden gegebenen Zeitpunkt den Stundenwinkel eines Sternes, d. h. den Winkel berechnen zu können, welchen der Declinationskreis des Sternes mit dem Meridian macht.

Es ſei nun

a die Rectaſcenſion der Sonne zur Zeit ihrer Culmination an einem gegebenen Tage;

b die Rectaſcenſion eines gegebenes Sternes;

c die Zeitgleichung für den gegebenen Tag, ſo iſt:

$a-b$ der Winkel, um welchen der Declinationskreis des Sternes im Moment der Sonnenculmination, und

$a-b-c$ der Winkel, um welchen derſelbe zur Zeit des mittleren Mittags weſtlich vom Meridian liegt.

Um n Uhr, d. h. n Stunden mittlerer Sonnenzeit, oder $n\,\frac{366}{365}$ Stunden Sternzeit nach dem mittleren Mittag, iſt der Stundenwinkel S des Sternes noch um $n\,\frac{366}{365}$ Stunden größer, alſo

$$S = a - b - c + n\,\frac{366}{365}.$$

Man fragt z. B., welches iſt zu Berlin am 7. März 1855 Abends 8 Uhr der Stundenwinkel von α leonis? Nach dem aſtronomiſchen Jahrbuche iſt für dieſen Fall

$$b = 10^h\ 0'\ 39'' \qquad c = 0^h\ 11'\ 20''$$
$$a = 23^h\ 9'\ 46'' \qquad n = 8^h$$

und danach ergiebt ſich

$$S = 20^h\ 59'\ 6'',$$

d. h. in dem fraglichen Moment ſteht zu Berlin α leonis $20^h\ 59'\ 6''$ weſtlich, oder, was daſſelbe iſt, $3^h\ 0'\ 54''$ (in Bogentheilen ausgedrückt, $45^\circ\ 13'\ 30''$) öſtlich vom Meridian.

Wollte man alſo zu Berlin am 7. März 1855 das Fernrohr eines Aequatorialinſtrumentes ſo richten, daß Abends 8 Uhr α leonis im Geſichtsfelde erſcheint, ſo hätte man den Aequatorial- oder Stundenkreis auf $314^\circ\ 46{,}5'$ zu ſtellen, vorausgeſetzt, daß der Index dieſes Kreiſes auf Null zeigt, wenn das Fernrohr ſich in der Ebene des Meridians befindet, und die Theilung vom Meridian nach Weſten gezählt wird. Den Declinationskreis des Inſtrumentes aber hätte man auf $12^\circ\ 40'\ 26''$ zu ſtellen, weil dies die nördliche Abweichung α leonis iſt.

Die Berliner Ephemeriden geben die Rectaſcenſion der Sonne für den Moment, in welchem dieſes Geſtirn zu Berlin culminirt. An weſtlicher gelegenen Orten findet aber die Sonnenculmination ſpäter Statt; folglich muß für ſolche weſtlicher gelegene Orte die Rectaſcenſion der Sonne im Moment des wahren Mittags größer ſein, als ihn die Berliner Ephemeriden angeben. Wollte man alſo für irgend einen weſtlich von Berlin gelegenen Ort den Stundenwinkel eines Sternes für einen gegebenen Zeitpunkt berechnen, ſo dürfte man in den obigen Werth von S nicht den Werth von a ſetzen, wie ihn die Berliner Ephemeriden angeben, ſondern man müßte an dieſem Werthe noch eine Correction anbringen, welche von der geographiſchen Länge des Ortes abhängt.

In 24 Stunden nimmt die Rectaſcenſion der Sonne im Durchſchnitt um $0{,}986^0$, in einer Stunde alſo um $\frac{0{,}986^0}{24}$ zu. Für jeden Ort, deſſen wahrer Mittag eine Stunde ſpäter iſt als zu Berlin, wird demnach die Rectaſcenſion der Sonne zur Zeit des wahren Mittags $\frac{0{,}986}{24}$ Grad größer ſein, als es die Berliner Ephemeriden angeben. Für 1 Längengrad beträgt dieſer Unterſchied der Rectaſcenſion 9,86 Bogenſecunden oder 0,657 Zeitſecunden.

Zeitbestimmung durch Culminationsbeobachtungen. Eine 29
Zeitbeſtimmung machen heißt eigentlich nichts weiter, als den Gang einer Uhr durch aſtronomiſche Beobachtungen zu controliren.

Für eine Uhr, welche genau nach mittlerer Sonnenzeit geht, haben wir

$$UZ - MZ = 0,$$

wenn man mit UZ die Uhrzeit, mit MZ die mittlere Zeit bezeichnet. Geht aber die Uhr um die Zeit t vor, ſo iſt

$$UZ - MZ = t.$$

Iſt ferner WZ die wahre Sonnenzeit und c die Zeitgleichung, alſo $MZ = WZ + c$, ſo haben wir

$$UZ - WZ - c = t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Für den Moment der Sonnenculmination iſt $WZ = 0$, alſo

$$UZ - c = t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Ginge die Uhr vollkommen richtig, ſo müßte ſich $t = 0$ ergeben. Ergiebt ſich aber ein poſitiver Werth von t, ſo iſt die Uhrzeit größer als ſie ſein ſollte, die Uhr geht alſo vor, während ein negativer Werth von t ein Nachgehen der Uhr andeutet.

Einige Beiſpiele mögen dies erläutern.

Am 14. März zeige die Uhr im Moment, in welchem der Mittelpunkt der Sonne den Meridian paſſirt, $11^h\ 18^m$ über 12 Uhr, ſo iſt $UZ = 11^h\ 18^m$. Nach der Tabelle auf Seite 76 iſt für den 14. März $c = 9^h\ 30^m$, folglich haben wir:

$$UZ - c = 11^h\ 18^m - 9^h\ 30^m = 1^h\ 48^m;$$

die Uhr geht alſo 1 Minute 48 Secunden vor.

Hätte am 5. Auguſt eine Uhr im Augenblicke der Sonnenculmination 3′ 10″ über 12 Uhr gezeigt, ſo hätten wir

$$UZ - c = 3' 40'' - 5' 46'' = - 2' 6'';$$

die Uhr geht 2 Minuten 6 Secunden zu ſpät.

Hätte man ferner die Sonnenculmination am 9. November beobachtet und gefunden, daß ſie ſtattfand, als die Uhr $11^h\ 46'\ 22''$ Vormittags zeigte, ſo iſt $UZ = -(13' 38'')$, weil man offenbar die Zeit vom Mittag rückwärts negativ zählen muß. Für den 9. November iſt $c = -(16' 3'')$ (Tab. S. 76), alſo

$$UZ - c = -(13' 38'') + (16' 3'') = 2' 25'';$$

die Uhr geht alſo 2′ 25″ vor.

Die Culmination der Sonne kann man entweder an einem Gnomon oder genauer an einem im Meridian aufgeſtellten Fernrohre beobachten.

Die Sonne erlaubt keine ſo ſcharfe Beobachtung der Culminationszeit wie ein Stern, deshalb iſt für eine genaue Zeitbeſtimmung die Sternbeobachtung der Sonnenbeobachtung vorzuziehen, nur iſt die Berechnung für die Sternbeobachtung etwas umſtändlicher.

Auch für den Fall, daß man eine Zeitbeſtimmung mittelſt einer Sternculmination machen will, benutzt man die Gleichung (1). UZ iſt in dieſem Falle die Zeit, welche die Uhr im Moment der Culmination des beobachteten Sternes zeigt, WZ iſt der nach mittlerer Zeit gemeſſene Zeitraum, welcher zwiſchen der Culmination der Sonne und der Culmination des Sternes liegt.

Haben b und a dieſelbe Bedeutung wie auf S. 78, ſo iſt $(b-a)$ der Stundenwinkel, um welchen der Stern im Moment des wahren Mittags noch öſtlich vom Meridian abſteht. $b-a$ Sternſtunden oder $(b-a)\frac{365}{366}$ mittlere Sonnenſtunden nach dem wahren Mittag wird alſo der Stern culminiren, oder mit anderen Worten, zur Zeit der Sternculmination iſt $WZ = (b-a)\frac{365}{366}$, alſo

$$UZ - (b-a)\frac{365}{366} - c = t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Hat man z. B. am 23. April 1855 beobachtet, daß die Uhr $4^h\ 40'\ 10''$ in dem Augenblicke zeigt, in welchem Sirius culminirt, ſo hat man

$$\begin{aligned} UZ &= 4^h\ 40'\ 10'', \\ a &= 2\ \ 2\ \ 0 \quad \text{(Tabelle auf S. 69)}, \\ b &= 6\ 38\ 45 \quad \text{(S. 31)}, \\ c &= -\ 1\ 40 \quad \text{(S. 76)}, \end{aligned}$$

und es ergiebt ſich

$$t = 5' 53'';$$

die Uhr geht alſo 5′ 53″ vor.

30 **Zeitbeſtimmung durch correſpondirende Höhen.** Die im vorigen Paragraphen beſprochene Methode der Zeitbeſtimmung iſt nur anwendbar, wenn der Meridian des Beobachtungsortes beſtimmt iſt.

Durch die Beobachtung correſpondirender Höhen vor und nach der Culmi-

nation kann man aber die Uhrzeit der Culmination eines Geſtirnes auch ermitteln, ohne daß der Meridian beſtimmt iſt.

Beobachtet man, daß ein Stern, auf der Oſtſeite des Himmels aufſteigend, die Höhe h in dem Augenblicke erreicht, in welchem die Uhr die Zeit T zeigt, daß er, auf der Weſtſeite des Himmels niedergehend, dieſelbe Höhe h wieder zur Uhrzeit T' paſſirt, ſo iſt offenbar die Uhrzeit ſeiner Culmination das Mittel zwiſchen den beiden beobachteten Zeiten, alſo $\frac{T+T'}{2}$.

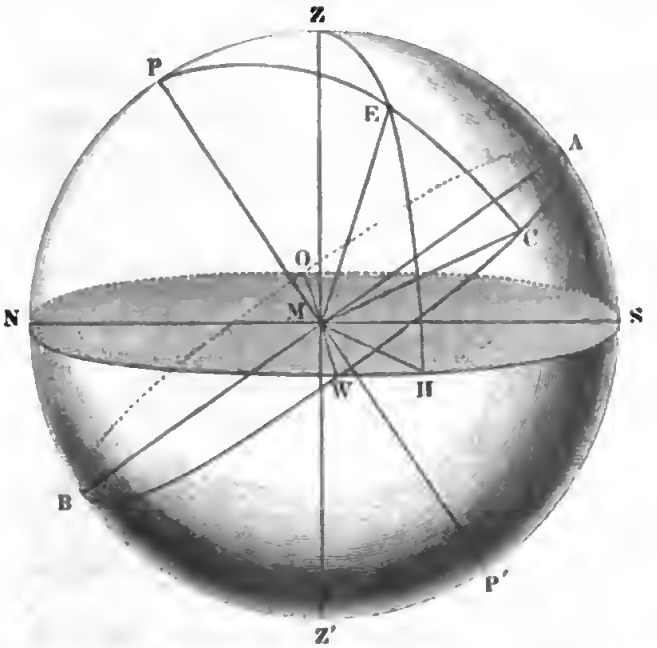
Hätte z. B. ein Stern die Höhe von $32^\circ\ 17'$ im Aufſteigen um $6^h\ 18'\ 42''$ Uhrzeit, im Niedergehen aber zur Uhrzeit $10^h\ 33'\ 20''$ paſſirt, ſo wäre die Uhrzeit der Culmination dieſes Sternes $8^h\ 26'\ 1''$.

Wenn man dieſe Beobachtungsmethode anwenden will, um die Uhrzeit einer Sonnenculmination zu ermitteln, ſo muß man die Veränderung der Declination der Sonne, welche zwiſchen den beiden Beobachtungen ſtattfindet, in Rechnung bringen.

Zeitbeſtimmung durch einfache Sonnenhöhen. Da ein jedes 31
Geſtirn in Folge ſeiner täglichen Bewegung ſeine Höhe ſtets ändert, und da es eine gewiſſe Höhe immer zu einer beſtimmten Zeit paſſirt, ſo muß auch eine einzige Höhenmeſſung hinreichen, um eine Zeitbeſtimmung zu machen.

Zunächſt kommt es darauf an, aus der beobachteten Höhe eines Geſtirnes ſeinen Stundenwinkel S, d. h. den Winkel zu berechnen, welchen der Declinationskreis PC, Fig. 49, des Geſtirnes E mit dem Meridian PZA macht.

Fig. 49.



Außer der beobachteten Höhe HE muß zur Löſung dieſer Aufgabe noch die Declination CE des Geſtirnes und die Aequatorhöhe SA des Beobachtungsortes bekannt ſein.

Der geſuchte Stundenwinkel CA, den wir mit S bezeichnen wollen, iſt der Winkel, den die Ebenen PCM und PAM mit einander machen. Dieſer Winkel iſt aber offenbar auch ein Winkel des ſphäriſchen Dreiecks PZE und zwar derjenige, welchen die Seiten PZ und PE dieſes Dreiecks mit einander machen. In dieſem Dreieck ſind aber alle drei Seiten bekannt; es iſt nämlich

$PZ = SA$, gleich der Aequatorhöhe des Beobachtungsortes, die wir mit a bezeichnen wollen;

$PE = p$, die Poldiſtanz des beobachteten Geſtirnes E, ſie iſt offenbar $= 90^0 - CE$, gleich 90^0 weniger der bekannten Declination des Geſtirnes;

$ZE = z$, die Zenithdiſtanz des Geſtirnes, welche $90^0 - HE$, d. h. 90^0 weniger der beobachteten Höhe iſt.

Daraus ergiebt ſich nun (Sphäriſche Trigonometrie, S. 12, Gleichung 12):

$$(\sin. \tfrac{1}{2} S)^2 = \frac{\sin. \tfrac{1}{2} (z + a - p) \sin. \tfrac{1}{2} (z + p - a)}{\sin. a \,.\, \sin. p} \quad . \quad . \quad (1)$$

Nehmen wir z. B. an, man habe zu Freiburg am 15. Juni Vormittags die Sonnenhöhe 39^0 beobachtet, ſo haben wir

$$z = 90 - 39 = 51^0$$

$$p = 90 - (23^0\ 18'\ 41'') = 66^0\ 41'\ 19'',$$

da am 15. Juni die Declination der Sonne $23^0\ 18'\ 41''$ iſt, und

$$a = 42^0.$$

Setzen wir dieſe Zahlenwerthe in die Gleichung bei (1), ſo ergiebt ſich

$$S = 56^0\ 56'\ 23''.$$

Dieſer Winkel, in Stunden ausgedrückt, giebt nun die Zeit, welche die Sonne braucht, um in den Meridian zu gelangen, oder wenn man eine Nachmittagsbeobachtung gemacht hatte, die Zeit, welche ſeit der Sonnenculmination verſtrichen iſt. Bezeichnet man mit c die Zeitgleichung, ſo iſt

$$MZ = 12 - S - c$$

die mittlere bürgerliche Zeit des Beobachtungsmomentes, wenn man die Höhenbeſtimmung des Morgens gemacht hat, und

$$MZ = S + c,$$

wenn es ſich um eine Nachmittagsbeobachtung handelt.

Nehmen wir das obige Beiſpiel wieder auf, ſo iſt $S = 56^0\ 56'\ 23''$, in Zeit ausgedrückt, $3^h\ 47'\ 45''$, alſo

$$MZ = 12^h - (3^h\ 47'\ 45'') = 8^h\ 12'\ 15''\ \text{Morgens}$$

die Zeit des Beobachtungsmomentes, da für den 15. Juni die Zeitgleichung nur Bruchtheile einer Secunde beträgt, alſo für Zwecke des bürgerlichen Lebens vernachläſſigt werden kann.

Gehen wir zu einem anderen Beiſpiele über. Am 4. März 1855 fand man zu Freiburg die Höhe der Sonne in dem Augenblicke, in welchem die Uhr Nachmittags $1^h\ 58'\ 36''$ zeigte, die Höhe des Sonnenmittelpunktes gleich 30^0; wir haben alſo

$$z = 90^0 - 30^0 = 60^0,$$

$$p = 90^0 + (6^0\ 32'\ 55'') = 96^0\ 32'\ 55'',$$

da am genannten Tage die Declination der Sonne $-(6^0\ 32'\ 55'')$ beträgt, und

$$a = 42^0.$$

Aus diesen Daten ergiebt sich

$$S = 28^0\ 26' = 1^h\ 52'.$$

Da nun für den fraglichen Tag $c = 12'\ 2''$, so ist die mittlere Zeit des Beobachtungsmomentes

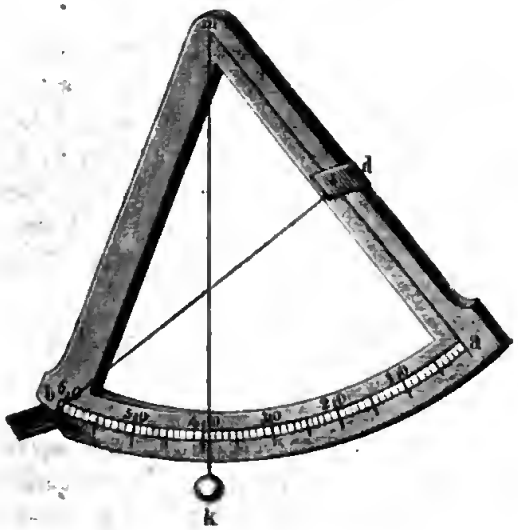
$$MZ = 2^h\ 4'\ 2''.$$

Da aber die Uhr $1^h\ 58'\ 36''$ zeigte, so ergiebt sich, daß diese Uhr um $5'\ 26''$ nachging.

Um Sonnenhöhen so genau zu messen, als es zur Bestimmung der Zeit für das bürgerliche Leben erforderlich ist, genügen einfachere Instrumente als die, welche wir früher kennen lernten; gewöhnlich wendet man in diesem Falle den **Sextanten** an.

Fig. 50 zeigt einen Sextanten der einfachsten Art. Er besteht im Wesentlichen aus einem getheilten Sechstelskreis (daher der Name), welcher mit zwei Radien ein Dreieck bildet. m ist der Mittelpunkt des getheilten Bogens. An dem Schenkel ma, welcher dem Nullpunkte der Theilung entspricht, ist ein Messingblättchen d so befestigt, daß ein von der gegenüberstehenden Spitze b auf ma gefälltes Perpendikel gerade die Mittellinie dieses Blättchens trifft. Parallel mit diesem ist bei b ein zweites Messingblättchen angebracht. In der Mitte des Blättchens b ist eine Linie eingeritzt, während d ein kleines rundes Loch enthält. Von m hängt ein Faden herab, welcher eine Bleikugel k trägt.

Fig. 50.



Hält man nun das Instrument so, daß seine Ebene in die Verticalebene der Sonne und der Schatten von d gerade auf b fällt (was man daran erkennt, daß die Sonnenstrahlen, welche durch die kleine Oeffnung in d fallen, einen hellen Fleck auf der Mittellinie von b bilden), so kann man auf dem getheilten Kreise die Höhe der Sonne ablesen. Es ist nämlich bd die Richtung der Sonnenstrahlen. Der Winkel aber, welchen bd mit der Horizontalen macht,

iſt gleich dem Winkel amk, da am auf bd und mk auf der Horizontalen rechtwinklig ſteht; der Bogen von a bis zum Bleiloth mißt alſo die Sonnenhöhe.

Da es ſchwierig iſt, den Sextanten in freier Hand ſicher genug zu halten, ſo wird er in der Regel mit einem paſſenden Stativ verſehen, welches eine feſte Aufſtellung erlaubt.

Solche Sextanten von 6 bis 8 Zoll Radius ſind in der Regel von Holz mit aufgeklebter Papierſcala.

Eine ſehr zweckmäßige Einrichtung hat neuerdings Eble dem Sextanten gegeben. Bei einem Halbmeſſer von 13 Zoll iſt der Bogen unmittelbar in $^{5}/_{12}$ Grade eingetheilt.

Die gemeſſenen Sonnenhöhen bedürfen noch, bevor man ſie in die Rechnung einführen kann, einer Correction wegen der atmoſphäriſchen Strahlenbrechung, welche wir erſt im zweiten Buche werden kennen lernen. Die Theilung des Eble'ſchen Sextanten iſt ſo eingerichtet, daß man unmittelbar die corrigirte Höhe ableſen kann.

Aus den beobachteten Sonnenhöhen den Stundenwinkel zu berechnen, iſt immerhin eine etwas langwierige und für Manchen auch ſchwierige Arbeit. Deshalb hat bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts Fr. Chr. Müller Tafeln berechnet, in welchen man für Orte vom 47. bis 54. Breitengrade für die von Grad zu Grad fortſchreitenden Sonnenhöhen die entſprechende Zeit aufſchlagen kann.

Müller's Sonnentafeln, welche zuerſt zu Leipzig im Jahre 1791 erſchienen, leiden an mehrfachen Uebelſtänden, vermöge deren die aus ihnen entnommene Zeit bis auf 10 Minuten unrichtig ſein kann. Sehr ſinnreich hat Eble die Aufgabe, aus den beobachteten Sonnenhöhen die Zeit abzuleiten, auf graphiſchem Wege mittelſt eines ſogenannten aſtronomiſchen Netzes gelöſt, welches ſehr empfohlen zu werden verdient (Neues Zeitbeſtimmungswerk von Eble, Ellwangen 1853). Man kann nach dieſer Methode mittelſt des Eble'ſchen Sextanten und Netzes die Zeit bis auf $^{1}/_{2}$ Minute genau finden.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß man auch einfache Sternhöhen zur Zeitbeſtimmung anwenden kann.

32 **Die Sonnenuhr.** Die einfachſte Methode der Zeitbeſtimmung iſt wohl die mittelſt der Sonnenuhr, welche im Weſentlichen aus einem parallel mit der Weltaxe befeſtigten Stabe und aus einer Fläche beſteht, welche bei Sonnenſchein den Schatten jenes Stabes auffängt. Der Stab bildet die Axe, um welche ſich die Schattenebene mit derſelben Geſchwindigkeit umdreht, mit welcher die Sonne am Himmel fortſchreitet, d. h. ſie dreht ſich in jeder Stunde um 15 Grad. Zu gleichen Tageszeiten, d. h. gleich viel Stunden vor oder gleich viel Stunden nach der Culmination der Sonne, wird alſo die Schattenebene ſtets dieſelbe Lage haben, und aus der Lage der Schattenebene, alſo auch aus der Lage des Stabſchattens auf einer gegen den Stab unveränderlich feſten Ebene kann man auf die Zeit ſchließen.

Die Ebene, welche den Schatten auffängt, iſt gewöhnlich eine verticale Wand oder eine horizontale Platte, auf welcher die Linien gezogen ſind, auf welche der Stabſchatten 1, 2, 3 u. ſ. w. Stunden vor, und 1, 2, 3 u. ſ. w. Stunden nach dem wahren Mittag fallen muß.

Fig. 51 ſtellt eine Sonnenuhr mit verticaler ſchattenauffangender Wand (mit verticalem Zifferblatte) dar.

Fig. 51.

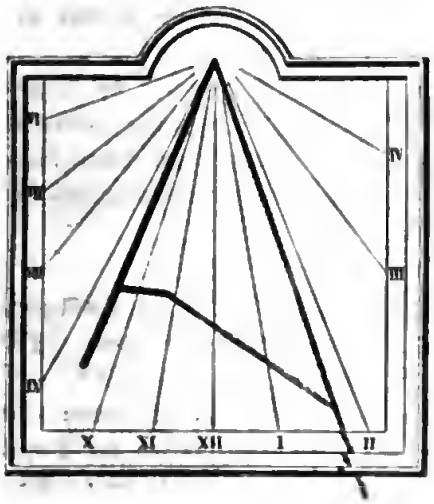
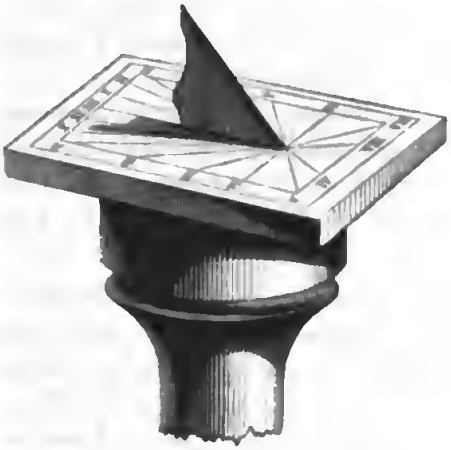


Fig. 52.



Bei kleinen Sonnenuhren iſt häufig der ſchattengebende Stab durch eine verticale Metallplatte erſetzt, deren oberer geradliniger Rand die Richtung der Weltaxe hat. Fig. 52 ſtellt eine derartige kleine Sonnenuhr mit horizontalem Zifferblatte dar.

Eine Sonnenuhr giebt natürlich nur wahre Sonnenzeit; um nach ihr die mittlere Zeit zu beſtimmen, muß man die Zeitgleichung nach der Tabelle auf Seite 76 in Rechnung bringen.

Eine große Genauigkeit iſt von einer derartigen Sonnenuhr begreiflicherweiſe nicht zu erwarten.

Beſtimmung des Frühlingspunktes. Da die Rectaſcenſion aller 33
Geſtirne auf dem Aequator vom Frühlingspunkte an gezählt wird (S. 31), ſo iſt es von der größten Wichtigkeit, daß nicht allein die Lage dieſes Punktes, ſondern auch der Moment genau beſtimmt werde, in welchem der Mittelpunkt der Sonne denſelben paſſirt.

Um den Zeitpunkt zu erhalten, in welchem die Sonne durch den Frühlingspunkt geht, bedarf es nichts weiter, als daß man an den Mittagen vor und nach dieſem Durchgang die Höhe der Sonne im Meridian mit möglichſter Genauigkeit mißt.

Man hat z. B. zu Wien, für welchen Ort die Aequatorhöhe $41_0\ 47'\ 24''$ beträgt, im Jahre 1830 die Höhe des Sonnenmittelpunktes zur Zeit des wahren Mittags gefunden:

am 20. März 41° 32′ 13″
am 21. März 41 55 54.

Daraus folgt, daß der Durchgang der Sonne durch den Aequator in der Zeit zwischen dem Mittage des 20. und des 21. März erfolgt ist.

In dieser Zwischenzeit von 24 Stunden hat die Höhe der Sonne um

23′ 41″

zugenommen. Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Höhe der Sonne noch um 15′ 11″ geringer als die Aequatorhöhe von Wien oder mit anderen Worten, die südliche Declination der Sonne betrug 15′ 11″.

Da man nun weiß, daß zur fraglichen Zeit die Declination der Sonne in 24 Stunden um 23′ 41″ zunimmt, und man ohne merklichen Fehler in der Zwischenzeit die Zunahme der Declination als gleichförmig annehmen kann, so hat man zur Berechnung des Zeitpunktes, in welchem der Mittelpunkt der Sonne den Aequator erreicht, die Proportion

$$23' 41'' : 24^h = 15' 11'' : x^h,$$

woraus folgt $x = 15{,}386$ Stunden oder $15^h\ 23'\ 10''$, d. h. der Durchgang des Sonnenmittelpunktes durch den Frühlingspunkt fand im Jahre 1830 $15^h\ 23'\ 10''$ nach dem wahren Mittag des 20. März Statt.

Um aber auch genau den Ort des Frühlingspunktes zu bestimmen, hat man nur an den genannten Tagen auch die Zeit der Culmination der Sonne und irgend eines Fixsternes zu beobachten. Hat man z. B. 1830 zu Wien beobachtet

	Culmination der Sonne	Culmination α arietis
am 20. März	12^h	$10^h\ 0'\ 1''$
am 21. März	12	10 3 39,

so ist klar, daß die Rectascension der Sonne vom wahren Mittag des 20. März bis zum wahren Mittag des 21. März, also in 24 Stunden, um 3′ 38″ gewachsen ist. Um zu finden, wie viel sie in $15^h\ 23'\ 10''$ zunimmt, haben wir also die Gleichung

$$24^h : 0^h\ 3'\ 38'' = 15^h\ 23'\ 10'' : x,$$

woraus $x = 0^h\ 2'\ 19''$.

Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Rectascensionsdifferenz zwischen Sonne und α arietis $12^h - (10^h\ 0'\ 1'')$, also gleich $1^h\ 59'\ 59''$. Zur Zeit, in welcher die Sonne den Frühlingspunkt erreichte, war diese Differenz um 2′ 19″ kleiner, sie war also

$1^h\ 57'\ 40''$.

Dies ist nun die Rectascension von α arietis im Jahre 1830, wodurch dann die Lage des Frühlingspunktes für diese Zeit, d. h. der Winkel genau bestimmt ist, welchen der Aequinoctialcolur mit dem Declinationskreise des Sternes α arietis macht.

Der Durchgang der Sonne durch den Frühlingspunkt fand, dem Berliner astronomischen Jahrbuche zufolge, Statt

1853	20. März	5h	9′	44″
1854	20. März	11	6′	10
1855	20. März	16	32	39

Die Zeit vom Aequinoctium 1853 bis 1854 beträgt alſo 365 Tage 5h 56′ 26″; zwiſchen den Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt in den Jahren 1854 und 1855 liegt dagegen eine Zeit von 365 Tagen 5h 26′ 29″.

Man bezeichnet mit dem Namen des tropiſchen Jahres die Zeit zwiſchen zwei auf einander folgenden Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt. Man ſieht aus der obigen Angabe, daß dieſe Zeit von einem Jahre zum anderen kleinen Schwankungen unterworfen iſt; im Durchſchnitt aber beträgt die Dauer des tropiſchen Jahres

365,24221 Tage

oder

365 Tage 5h 48′ 51″,

was etwas weniger als $365\frac{1}{4}$ Tag iſt.

Der Kalender. Das bürgerliche Jahr muß natürlich ſtets aus 34
einer ganzen Anzahl von Tagen beſtehen. Dadurch entſteht aber ein Unterſchied zwiſchen dem bürgerlichen und dem tropiſchen Jahre, welcher jedoch durch beſondere Beſtimmungen der Kalenderrechnung, die wir ſogleich näher betrachten wollen, wieder ausgeglichen werden kann.

Das Jahr der alten Aegyptier betrug ſtets 365 Tage, ſie nahmen alſo das Jahr ſtets $\frac{1}{4}$ Tag zu kurz an, und dieſer Fehler mußte ſich im Laufe der Zeit ſo anhäufen, daß derſelbe Kalendertag allmälig durch alle Jahreszeiten hindurchlief. Fiel z. B. zu einer beſtimmten Zeit der 21. März mit dem Frühlingsäquinoctium zuſammen, ſo mußte nach ungefähr 365 Jahren der 21. März in die Zeit des Winterſolſtitiums fallen.

Um dieſem Uebelſtande abzuhelfen, verordnete Julius Cäſar im Jahre 45 v. Chr. eine Reform des Kalenders, welche darin beſtand, daß das gemeine Jahr zu 365 Tagen gerechnet, daß aber alle 4 Jahre ein Tag eingeſchaltet werden ſollte, ſo daß das 4te Jahr ſtets 366 Tage hatte. Dieſe Jahre von 366 Tagen werden Schaltjahre genannt. Während der Februar eines gemeinen Jahres nur 28 Tage hat, ſo hat derſelbe Monat in einem Schaltjahre 29 Tage.

Die Jahresdauer, wie ſie Julius Cäſar angenommen hatte, nämlich $365\frac{1}{4}$ Tag, war noch nicht genau, ſie war noch um 0,00776 Tage zu groß und daraus ergiebt ſich ein Fehler von 0,776 Tagen in 100 Jahren, alſo nahe 3 Tagen in 400 Jahren. Der julianiſche Kalender hat alſo in 400 Jahren ungefähr 3 Tage zu viel.

Durch das Concilium von Nicäa wurde die Beſtimmung getroffen, daß das Oſterfeſt ſtets am erſten Sonntag gefeiert werden ſollte, welcher dem erſten

Vollmond nach dem Frühlingsäquinoctium folgt. — Zur Zeit dieſes Conciliums, im Jahre 325, fiel die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche auf den 21. März. — Man fuhr nun fort, nach dem julianiſchen Kalender zu zählen bis 1582, zu welcher Zeit dann die Zeit des Frühlingsäquinoctiums ſchon merklich verrückt war; es fand nämlich nicht mehr am 21. März Statt, wie im Jahre 325, ſondern es fiel auf den 11. März.

Vom Jahre 325 bis 1582 waren 1257 Jahre verfloſſen. Da der Fehler des julianiſchen Kalenders 0,00776 Tage im Jahre beträgt, ſo war er alſo im Laufe dieſer 1257 Jahre auf 9,7, alſo faſt auf 10 Tage gewachſen. Man hatte in der Zwiſchenzeit 10 Schalttage zu viel eingeſchaltet und war dadurch um 10 Tage im Kalender zurückgekommen. Deshalb verordnete Gregor XIII., daß auf den 4. October 1582 gleich der 15. October folgen ſollte, um ſo den ſeit dem Concilium von Nicäa angewachſenen Fehler auszugleichen.

Damit aber dieſer Fehler für die Zukunft vermieden werde, wurde verordnet, daß alle 400 Jahre 3 Schalttage ausfallen ſollten, was durch die Beſtimmung erreicht werde, daß das erſte Jahr eines jeden Jahrhunderts, welches nach dem julianiſchen Kalender ein Schaltjahr iſt, nur 365 Tage haben ſollte, wenn die Jahreszahl nicht durch 400 theilbar iſt. So bleiben alſo die Jahre 1600 und 2000 Schaltjahre, die Jahre 1700, 1800, 1900 aber, ſowie 2100, 2200, 2300 ſind es nicht.

Der gregorianiſche Kalender wurde alsbald unter allen Völkern eingeführt, welche der römiſchen Kirche angehören; und bald wurde er auch von den Proteſtanten angenommen. Die Griechen und Ruſſen haben noch bis auf den heutigen Tag den julianiſchen Kalender beibehalten, ſo daß ihre Zeitrechnung gegenwärtig um 12 Tage gegen die unſrige zurück iſt. Der 1. Januar des ruſſiſchen Kalenders iſt der 13. Januar des unſrigen. Der 20. Mai alten Stils iſt der 1. Juni neuen Stils.

35 **Rückgang der Aequinoctialpunkte.** Wir haben bisher den Frühlingspunkt als einen feſten Punkt des Himmels betrachtet, was er aber in der That nicht iſt. Verfolgt man den Lauf der Sonne längere Zeit, ſo ergiebt ſich zwar, daß der Weg, welchen ſie unter den Geſtirnen beſchreibt, im Weſentlichen ungeändert bleibt, daß aber die Punkte, in welchen die Ekliptik von dem Himmelsäquator durchſchnitten wird, langſam von Oſten nach Weſten fortrücken, alſo der Bewegung der Sonne entgegen.

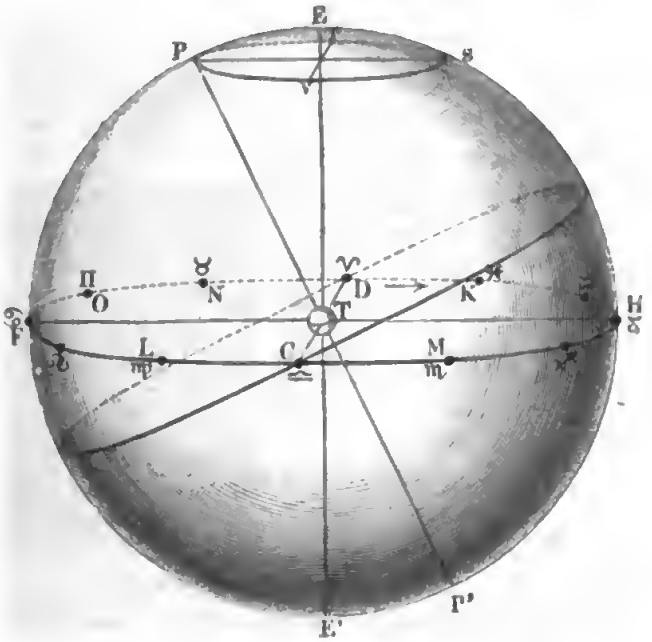
Im Laufe eines Jahrhunderts beträgt dieſer Rückgang der Tag- und Nachtgleichen $1^{\circ}\,23'\,30''$, in einem Jahre alſo $50''$.

Da alſo der Frühlingspunkt ſtets von Oſten nach Weſten fortſchreitet, ſo iſt klar, daß die Länge der Geſtirne fortwährend wächſt. Hipparch fand z. B. im Jahre 130 v. Chr. die Länge von α virginis (Spica) gleich 174°, während ſie gegenwärtig $201{,}5^{\circ}$ iſt. Dabei bleibt die Breite der Geſtirne nahezu unverändert, weil die Ebene der Ekliptik ihre Lage nicht ändert.

Fig. 53 ſtellt die gegenſeitige Lage der Ekliptik und des Himmelsäquators dar. Beide Ebenen ſchneiden ſich in der Linie CD; C iſt der Herbſtpunkt, D

iſt der Frühlingspunkt. Nach dem oben Geſagten muß dieſe Linie allmälig ihre Lage ändern; der Frühlingspunkt rückt von *D* gegen *K*, der Herbſtpunkt von *C* gegen *L* fort; es iſt alſo klar, daß der Frühlingspunkt im Laufe von Jahrtauſenden von einem Sternbild zum andern wandern wird. Wenn der Frühlings-

Fig. 53.



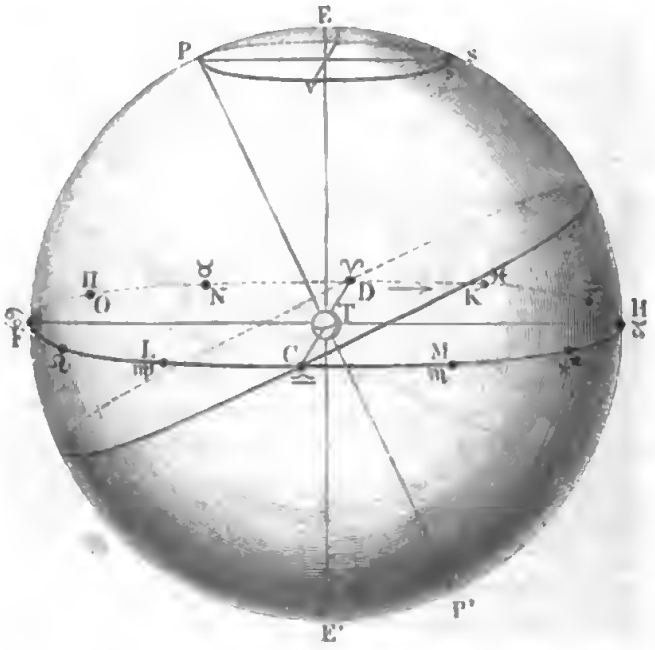
punkt ſich gegenwärtig in *D* befindet, ſo wird er in 2333 Jahren um 30° nach Weſten gewandert ſein, 0♈ wird alsdann an derſelben Stelle des Himmels ſtehen, welche jetzt 0♓ iſt, alſo in *K*.

Es iſt bereits oben S. 70 und 73 bemerkt worden, daß gegenwärtig der Frühlingspunkt ungefähr am weſtlichen Ende des Sternbildes der Fiſche liegt, vor 2300 Jahren lag alſo der Frühlingspunkt noch am weſtlichen Ende des Sternbildes des Widders, alſo an dem Punkt *N*, Fig. 53, den wir jetzt mit 0♉ bezeichnen. Damals fiel alſo das Zeichen des Widders mit dem Sternbild des Widders zuſammen, die Sonne paſſirte den Frühlingspunkt mit dem Eintritt in das Sternbild des Widders. Aus dieſer Zeit rührt wahrſcheinlich die Eintheilung der Ekliptik in die 12 Zeichen des Thierkreiſes. Allmälig ging nun die Uebereinſtimmung zwiſchen den Zeichen und den gleichnamigen Sternbildern verloren, weil der Frühlingspunkt auf das folgende Sternbild fortrückt, während man ihn doch ſtets als den Nullpunkt des erſten Zeichens im Thierkreis (0♈) beibehielt.

Da die Ebene der Sonnenbahn (gewiſſe Schwankungen abgerechnet, von denen alsbald die Rede ſein wird) ungeändert bleibt, ſo läßt ſich der Rückgang der Aequinoctialpunkte nur durch die Annahme erklären, daß die Ebene des

Himmelsäquators allmälig ihre Stellung ändert. Die Lage des Himmelsäquators iſt aber durch die Richtung der Erdaxe bedingt, auf welcher derſelbe rechtwinklig ſteht. In Fig. 54 ſeien E und E' die Pole der Ekliptik, $P'P''$ die

Fig. 54.



Weltaxe, alſo die verlängerte Erdaxe. Wenn ſich nun die Ebene des Himmelsäquators ſo drehen ſoll, daß ihre Durchſchnittslinie mit der Ebene der Ekliptik ſich aus der Lage CD gegen KL hin dreht, ſo muß auch die Weltaxe eine Drehung erleiden, und zwar wird die Weltaxe PP' bei ihrer Umdrehung um die Axe EE' eine Kegelfläche beſchreiben.

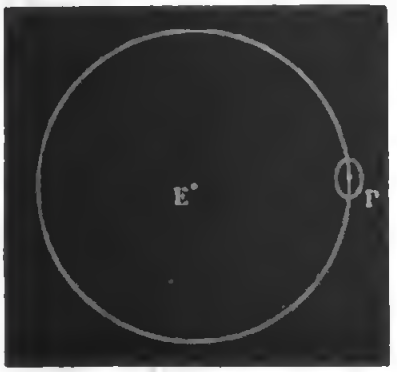
Daraus folgt nun auch weiter, daß die Himmelspole keine abſolut unveränderlichen Punkte ſind. Der Nordpol des Himmels wandert nach und nach durch die ganze Peripherie des Kreiſes $PrSV$; um aber dieſen Kreis vollſtändig zu durchlaufen, iſt eine Zeit von ungefähr 26000 Jahren nöthig.

In der Sternkarte Tab. III. iſt der Kreis gezogen, welchen der Nordpol um den Pol der Ekliptik beſchreibt. Der Stern α des kleinen Bären, welcher jetzt ungefähr $1^1/_2$ Grad von dem Nordpol des Himmels abſteht, war zur Zeit Hipparch's noch faſt 12 Grad von demſelben entfernt, konnte damals alſo noch nicht als Polarſtern bezeichnet werden. Der Nordpol des Himmels nähert ſich dieſem Sterne noch bis zum Jahr 2095, wo er nur noch 26 Minuten von ihm abſtehen wird. Darauf entfernt ſich der Nordpol des Himmels wieder von α ursae minoris, um in das Sternbild des Cepheus überzugehen. Nach 12000 Jahren wird α lyrae dem Nordpol nahe ſtehen.

Der in dieſem Paragraphen beſprochene Rückgang der Nachtgleichen wird auch mit dem Namen der Präceſſion bezeichnet.

Nutation. Der Rückgang der Aequinoctialpunkte iſt nicht ganz gleich- 36
förmig, ſondern er zeigt Schwankungen, deren Periode ungefähr $18^1/_2$ Jahr beträgt. Ebenſo iſt auch der Winkel, welchen die Erdaxe mit der Axe der Ekliptik macht, nicht ganz conſtant, ſondern er erleidet kleine Variationen, welche an dieſelbe Periode gebunden ſind, indem ſich die Erdaxe der Axe der Ekliptik abwechſelnd etwas nähert und ſich dann wieder von ihr entfernt. Dieſes Wanken der Erdaxe bezeichnet man mit dem Namen der Nutation.

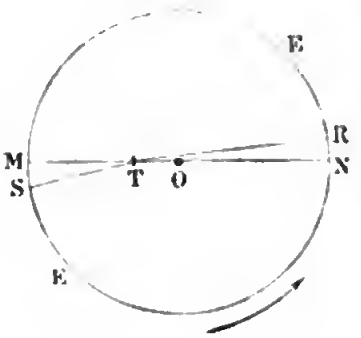
Fig. 55.



Der Nordpol des Himmels beſchreibt alſo nicht, wie es in dem vorigen Paragraphen angenommen wurde, einen reinen Kreis um den Pol der Ekliptik, ſondern eine wellenförmige Curve. Eine ſolche Bewegung erklärt ſich, wenn man annimmt, der Pol P, Fig. 55, bewege ſich auf einer kleinen Ellipſe, deren Mittelpunkt ſich mit gleichförmiger Geſchwindigkeit um den Pol E der Ekliptik bewegt. Die große Axe dieſer kleinen Ellipſe beträgt 9,6″, die kleine 8″.

Erklärung der ſcheinbaren Bewegung der Sonne. Am ein- 37
fachſten ſcheint ſich auf den erſten Anblick die ſcheinbare Bewegung der Sonne dadurch erklären zu laſſen, daß man annimmt, die Sonne beſchreibe wirklich um die feſtſtehende Erde im Laufe eines Jahres einen Kreis, deſſen Ebene einen Winkel von 23° 28′ mit der Ebene des Himmelsäquators macht. In der That war dies auch die im Alterthum herrſchende Anſicht. Um aber zu erklären, daß die Geſchwindigkeit, mit welcher die Sonne in der Ekliptik fortſchreitet, bald langſamer, bald ſchneller iſt, und da man doch die Hypotheſe nicht aufgeben wollte, daß die Sonne ihre kreisförmige Bahn mit gleichförmiger Geſchwindigkeit durchliefe, nahm Hipparch an, daß ſich die Erde nicht im Mittelpunkte der Sonnenbahn befände.

Fig. 56.



Wenn die Sonne mit gleichförmiger Geſchwindigkeit den Kreis EE, Fig. 56, durchläuft, die Erde ſich aber in T außerhalb des Kreismittelpunktes O befindet, ſo wird die Bewegung der Sonne, von der Erde aus geſehen, nicht mehr gleichförmig erſcheinen; denn wenn auch die gleichen Bogen NR und MS von der Sonne in gleichen Zeiten durchlaufen werden, ſo ſind doch die Winkel, unter welchen dieſe Bogen, von T aus geſehen, erſcheinen, nicht gleich.

ſondern ſie verhalten ſich umgekehrt wie die Entfernungen NT und MT; die ſcheinbare Geſchwindigkeit der Sonne, iſt kleiner, wenn ſie ſich bei N, als wenn ſie ſich bei M befindet.

Denken wir uns durch den Mittelpunkt O des Kreiſes EE und die Erde T eine gerade Linie gezogen, welche den Kreis in den Punkten M und N ſchneidet, ſo befindet ſich die Sonne bei M in der kleinſten, bei N in der größten Entfernung von der Erde, der Punkt M wird deshalb das Perigäum (Erdnähe), N aber das Apogäum (Erdferne) genannt. Die Sonne paſſirt das Perigäum zu Ende December, das Apogäum zu Ende Juni.

Unter der Vorausſetzung, daß ſich die Sonne mit gleichförmiger Geſchwindigkeit in ihrer Bahn fortbewegt, kann nun das Verhältniß der Excentricität OT zum Halbmeſſer OM leicht aus der Vergleichung des größten und kleinſten Winkels abgeleitet werden, um welchen die Länge der Sonne in 24 Stunden zunimmt. Dieſe Winkel ſind aber 1° 1′ 10,1″ oder 3670,1″ und 57′ 11,5″ oder 3431,5″ (Seite 74); wir haben alſo

$$TM : TN = 3431{,}5 : 3670{,}1,$$

woraus ſich die Excentricität OT ungefähr gleich $^1/_{30}$ vom Halbmeſſer der Sonnenbahn ergeben würde.

Die Hypotheſe von der gleichförmigen Geſchwindigkeit der Sonne mußte aber nothwendig aufgegeben werden, nachdem man einmal dahin gekommen war, den ſcheinbaren Durchmeſſer dieſes Geſtirns zu verſchiedenen Zeiten des Jahres mit Genauigkeit zu meſſen. Wäre Hipparch's Hypotheſe richtig, ſo müßten ſich die ſcheinbaren Durchmeſſer der Sonne zu Ende Juni und zu Ende December gleichfalls verhalten wie 3431,5 : 3670,1, während in der That die Sonnendurchmeſſer zu dieſen Zeiten 31′ 31,0″ und 32′ 35,6″ ſind, ſich alſo verhalten wie 1891,0 zu 1955,6. Daraus geht hervor, daß die Entfernungen TM und TN ſich gleichfalls verhalten müſſen wie 1891,0 zu 1955,6, woraus folgt, daß die Excentricität der Sonnenbahn in der That nur $^1/_{60}$ iſt.

Die gerade Linie $MTON$, welche die Erde mit dem Mittelpunkte der Sonnenbahn verbindet, wird die Abſidenlinie genannt.

38 **Jährliche Bewegung der Erde um die Sonne.** Aus Gründen, welche erſt in dem Capitel von der Planetenbewegung ihre volle Würdigung finden können, hat man die Annahme, daß die Erde feſt ſtehe und die Sonne um ſie herumlaufe, verlaſſen und läßt ſtatt deſſen die Erde um die ruhende Sonne kreiſen.

Wir wollen nun zunächſt unterſuchen, wie ſich aus dieſer Hypotheſe die ſcheinbare Bewegung der Sonne in der Ekliptik erklären läßt.

Der äußere Kreis Tab. V. ſtellt die Bahn dar, welche die Sonne ſcheinbar während eines Jahres durchläuft, und zwar iſt dieſe Bahn in die 12 Zeichen des Thierkreiſes eingetheilt. Den Mittelpunkt der Figur bildet die Sonne, und um dieſelbe iſt dann der Kreis gezogen, welchen die Erde im Laufe eines Jahres wirklich durchläuft.

Der Durchmeſſer der Erdbahn ſollte freilich verſchwindend klein ſein gegen

den Durchmeſſer des Thierkreiſes. Obgleich nun dies Verhältniß auch nicht entfernt annähernd eingehalten iſt, ſo kann man doch aus dieſer Figur erſehen, an welcher Stelle des Himmels die Ekliptik erſcheinen muß, wenn die Erde verſchiedene Orte ihrer Bahn einnimmt.

Befindet ſich die Erde in *A*, ſo trifft eine von *A* aus nach der Sonne gezogene und über dieſelbe hinaus verlängerte Linie die Ekliptik in dem Punkte 0 ♈. *A* iſt alſo der Ort, an welchem ſich die Erde zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums befindet. Während nun die Erde in der Richtung des Pfeils von *A* bis *B* fortſchreitet, ſcheint, von ihr aus geſehen, die Sonne die Zeichen Widder, Stier und Zwillinge zu durchlaufen, und wenn die Erde in *B* angekommen iſt, ſo ſteht die Sonne offenbar gerade vor 0 ♋, d. h. ſie tritt gerade in das Zeichen des Krebſes ein.

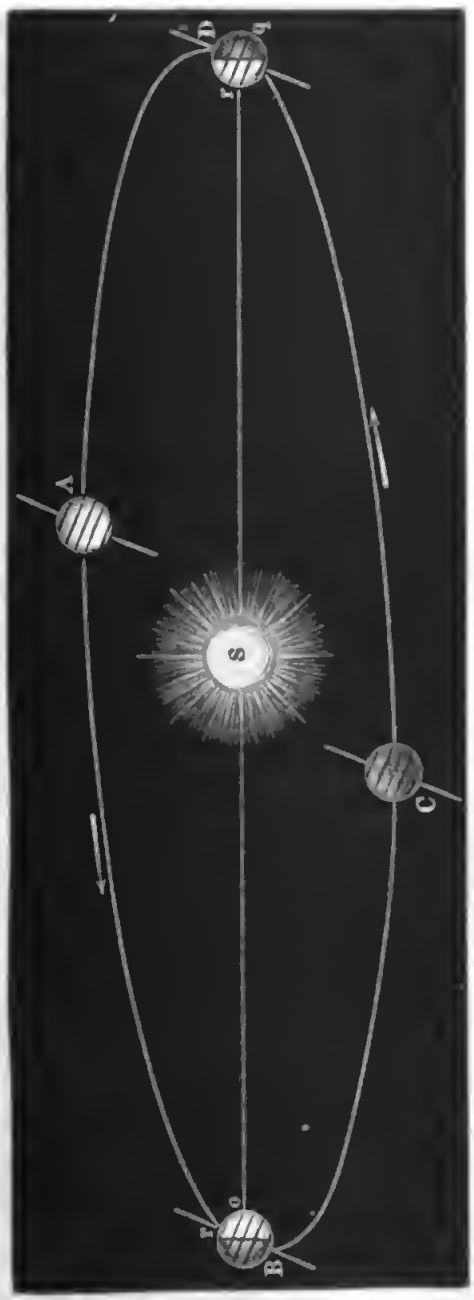


Fig. 57.

Während die Erde den zweiten, dritten und vierten Quadranten, alſo die Wege von *B* bis *C*, von *C* bis *D*, von *D* bis *A* durchläuft, bewegt ſich die Sonne ſcheinbar der Reihe nach vor den Sternzeichen Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Waſſermann und Fiſche her, die Sonne ſcheint alſo die Ekliptik in der angegebenen Richtung zu durchlaufen.

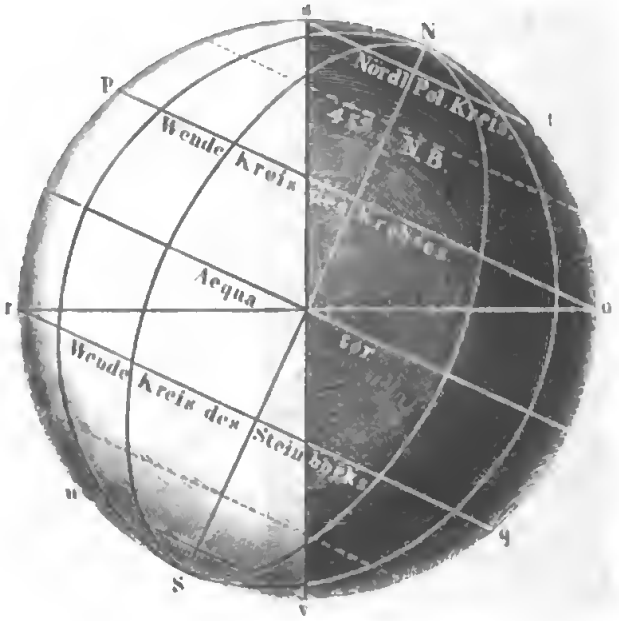
Während die Erde in der angegebenen Weiſe um die Sonne herumläuft, dreht ſie ſich aber auch noch in je 24 Stunden um ihre Axe; die Erdaxe aber ſteht nicht rechtwinklig auf der Ebene der Ekliptik, ſondern ſie macht einen Winkel von 66° 32′ mit derſelben, ſo daß alſo der Erdäquator, mithin auch der Himmelsäquator einen Winkel von 23° 28′ mit der Ebene der Erdbahn machen.

Da nun die Lage der Weltaxe, ſowie die Lage des Himmelsäquators das ganze Jahr hindurch unverändert bleiben, ſo müſſen wir annehmen, daß die Erdaxe trotz der fortſchreitenden Bewegung der Erde doch ſtets dieſelbe Richtung im Weltraume beibehält, daß alſo die Erdaxe immer parallel mit ſich ſelbſt fortrückt. Es iſt dies zwar auch in Tab. V. zu erkennen, deutlicher aber ſieht man es in Fig. 57 (a. v. S.), welche die Erdbahn perſpectiviſch darſtellt.

Betrachten wir das Verhältniß der Erde zu den Sonnenſtrahlen etwas näher, ſo ſehen wir, daß zur Zeit des Winterſolſtitiums, alſo wenn die Erde bei *D*, Fig. 57, ſteht, die Sonnenſtrahlen rechtwinklig auf einen Punkt *r* fallen, welcher 23° 28′ ſüdlich vom Aequator liegt.

In Fig. 57 iſt die Erdkugel zu klein, um die hier in Frage kommenden Verhältniſſe recht deutlich überſehen zu können, deshalb iſt ſie in Fig. 58 in gleicher Stellung, wie bei *D*, Fig. 57, in vergrößertem Maßſtabe dargeſtellt.

Fig. 58.



und Fig. 59 zeigt die auf die Ebene der Ekliptik projicirte Erdkugel zur Zeit des Winterſolſtitiums.

Der Parallelkreis *rq*, welcher 23° 28′ ſüdlich vom Aequator liegt, iſt die ſüdlichſte Gränze, für welche die Sonne im Zenith erſcheinen kann. Weil nun die Sonne, wenn ſie bei *D* ſteht, in das Zeichen des Steinbocks eintritt, ſo heißt dieſer Parallelkreis *rq* der Wendekreis des Steinbocks.

Wenn die Sonne in das Zeichen des Steinbocks tritt, wenn ſich die Erde alſo bei *D*, Tab. V. und Fig. 57, befindet, ſo tangiren die Sonnenſtrahlen die nördliche Erdhälfte in *s*, die ſüdliche in *v*. Der durch *s* gelegte Parallel-

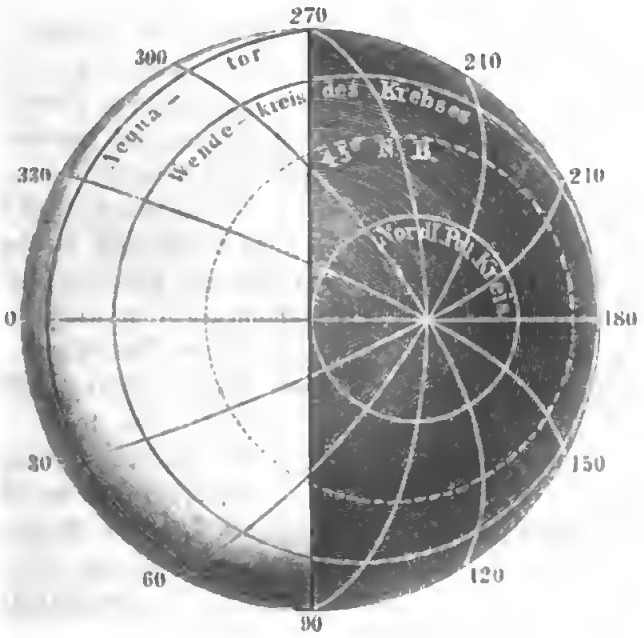
kreis *st* heißt der nördliche, der durch *v* gelegte Parallelkreis *uv* heißt der ſüdliche Polarkreis.

Der ſüdliche Polarkreis *uv* bildet die Gränze derjenigen Orte, für welche zur Zeit des Winterſolſtitiums in Folge der Axendrehung der Erde noch ein Auf- und Untergang der Sonne innerhalb 24 Stunden ſtattfindet. Für alle Orte des ſüdlichen Polarkreiſes iſt der längſte Tag 24 Stunden und für alle Orte, welche innerhalb des ſüdlichen Polarkreiſes liegen, geht zur Zeit des Winterſolſtitiums die Sonne nicht mehr unter (ſiehe oben §. 16).

Von dem ganzen Flächenraum, welcher innerhalb des nördlichen Polarkreiſes *st* liegt, bleiben zur Zeit des Winterſolſtitiums die Sonnenſtrahlen gänzlich abgehalten. Es iſt dies die Zeit der längſten Nacht für die nördliche Hemiſphäre, und dieſe dauert auf dem nördlichen Polarkreiſe 24 Stunden.

Von *D*, Tab. V. und Fig. 57, aus gelangt die Erde während des nächſten Vierteljahres nach *A*, und nun tritt die Sonne in das Zeichen des Wid-

Fig. 59.



ders. Es iſt dies die Zeit des Frühlings-Aequinoctiums. Die Sonnenſtrahlen treffen jetzt rechtwinklig auf einen Punkt des Aequators und tangiren die beiden Pole. Der größte Kreis der Erdkugel, welcher die beleuchtete von der dunkeln Erdhälfte ſcheidet, geht alſo jetzt durch die beiden Pole, er halbirt alſo alle Parallelkreiſe, und daher kommt es denn, daß um dieſe Zeit Tag und Nacht auf der ganzen Erde gleich ſind.

Wenn die Erde in *B* angekommen iſt, wenn ſie alſo ins Zeichen des Krebſes eintritt, ſo fallen die Sonnenſtrahlen rechtwinklig auf denjenigen Punkt *o* des 23° 28′ nördlich vom Aequator liegenden Kreiſes *op*, für welchen die

Sonne gerade culminirt. Der Kreis *op* enthält also die nördlichsten Punkte der Erde, für welche die Sonne noch ins Zenith kommen kann. Er wird der Wendekreis des Krebses genannt.

Zur Zeit des Sommersolstitiums geht während der täglichen Umdrehung die Sonne innerhalb des nördlichen Polarkreises nicht mehr unter, innerhalb des südlichen nicht mehr auf. Der nördliche Polarkreis hat jetzt seinen längsten Tag von 24 Stunden und ebenso lang ist zu dieser Zeit die Nacht des südlichen Polarkreises.

Zur Zeit des Herbstäquinoctiums, wenn die Erde in *C* angelangt ist, sind die Insolationsverhältnisse dieselben wie zur Zeit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche.

39 **Eintheilung der Erde in fünf Zonen.** Durch die beiden Wendekreise und die beiden Polarkreise wird die Erde in fünf Zonen getheilt.

Die heiße Zone ist der Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt und dessen Mitte der Erdäquator bildet.

Die nördliche gemäßigte Zone ist der Raum zwischen dem Wendekreis des Krebses *po*, Fig. 60, und dem nördlichen Polarkreis *st*. Diesem entspricht die südliche gemäßigte Zone zwischen dem südlichen Wendekreis *rq* (dem Wendekreis des Steinbocks) und dem südlichen Polarkreis *uv*.

Fig. 60.

Die nördliche und südliche kalte Zone endlich sind die durch den nördlichen und südlichen Polarkreis eingeschlossenen Flächenräume. Der Nordpol bildet den Mittelpunkt der nördlichen, der Südpol bildet den Mittelpunkt der südlichen kalten Zone.

Am 21. Juni erreicht die Sonne für die auf dem nördlichen Wendekreise gelegenen Orte zur Mittagszeit das Zenith, während am 21. December für dieselben Orte zur Mittagszeit die Sonne 46° 56′ von dem Zenith absteht. Auf den Wendekreisen variirt also die Höhe der Sonne zur Mittagszeit von 43° 4′ bis 90°.

An allen zwischen den beiden Wendekreisen gelegenen Orten geht die Sonne zweimal im Jahre durch das Zenith. Die Zeitpunkte aber, in welchen dies stattfindet, rücken um so weiter aus einander, je weiter man sich von den Wendekreisen aus dem Aequator nähert. Auf dem Aequator selbst liegen diese Zeitpunkte um $^1/_2$ Jahr aus einander, indem hier die Sonne das Zenith zur Zeit des Frühlings- und des Herbstäquinoctiums passirt.

Für den Aequator ist die größte Höhe, welche die Sonne des Mittags erreicht, 90°, die geringste 66° 32′.

Der niedrigste Sonnenstand für den Aequator ist also immer noch etwa

um 3° größer als der höchste Stand, welchen die Sonne im mittleren Deutschland am 21. Juni erreicht, und für die Wendekreise ist der niedrigste Sonnenstand ungefähr demjenigen gleich, welcher auf dem 50. Breitengrade zu Ende März stattfindet. Der ganze Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt, ist demnach das ganze Jahr hindurch einer sehr kräftigen Wirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt, weshalb er auch den Namen der heißen Zone führt.

Außerhalb der Wendekreise erreicht die Sonne nie mehr das Zenith, und ihre Strahlen fallen um so schräger auf, je mehr man sich den Polen nähert. Auf den Polarkreisen ist die größte Mittagshöhe, welche die Sonne erreicht, ungefähr der geringsten Mittagshöhe der Wendekreise gleich. Zur Winterszeit aber sinkt die Höhe der Sonne um Mittag auf den Polarkreisen bis auf 0 herab; es ist also klar, daß die Wärme, welche durch die Sonnenstrahlen auf der Erdoberfläche hervorgebracht wird, von den Wendekreisen gegen die Polarkreise hin rasch abnehmen muß.

Ueber die Polarkreise hinaus, wo die Sonnenstrahlen längere Zeit gar nicht hintreffen und wo sie, wenn die Sonne auch über dem Horizont steht, doch nur sehr schräg auffallen, muß nothwendig eine sehr niedrige Temperatur herrschen; deshalb heißt auch der vom nördlichen Polarkreis eingeschlossene Flächenraum die nördliche kalte Zone, während der entsprechende den Südpol umgebende Raum die südliche kalte Zone genannt wird.

Da die Wärmeentwickelung auf der Erdoberfläche fast ausschließlich von den Sonnenstrahlen herrührt, so ist klar, daß das Klima eines Landes vorzugsweise durch die Insolationsverhältnisse bedingt ist; die Wirksamkeit der Sonnenstrahlen wird aber noch durch mancherlei Umstände modificirt, und so kommt es, daß Orte von gleicher geographischer Breite keineswegs auch stets gleiches Klima haben, wie dies im dritten Buche ausführlicher wird besprochen werden.

Die Abwechselung unserer Jahreszeiten hängt von dem Wechsel der Insolationsverhältnisse ab. In unserem Kalender wird als Frühling die Zeit bezeichnet, während welcher die Sonne den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum nördlichen Solstitialpunkte durchläuft.

Während unseres Sommers geht die Sonne vom nördlichen Solstitialpunkte bis zum Herbstpunkte. Herbst und Winter sind die Zeiten, während welcher die Sonne vom Herbstpunkte bis zum südlichen Solstitialpunkte und von diesem wieder bis zum Frühlingspunkte fortschreitet.

Tagesdauer an verschiedenen Orten und in verschiedenen Jahreszeiten. Nach §. 16 ist es klar, daß die Dauer des Tages, d. h. die Zeit, während welcher die Sonne über dem Horizont bleibt, von der Stellung abhängt, welche dieses Gestirn gerade am Himmel einnimmt, daß sie sich also mit der Jahreszeit ändert. 40

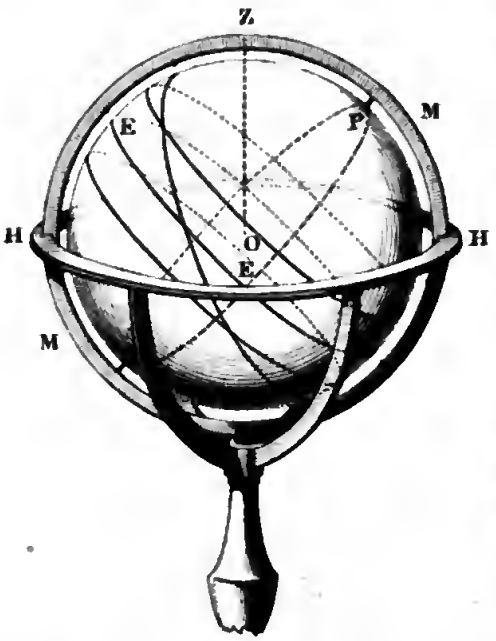
Wenn die Sonne gerade auf dem Himmelsäquator steht, so ist für alle Orte der Erde ihr Tagbogen dem Nachtbogen gleich, Tag und Nacht sind über-

all gleich lang, daher denn auch die Punkte, in welchen die Sonnenbahn den Himmelsäquator ſchneidet, Aequinoctialpunkte genannt werden.

Je mehr die nördliche Declination der Sonne zunimmt, deſto mehr wächſt für die nördliche Erdhälfte ihr Tagbogen, bis er endlich zur Zeit des Sommerſolſtitiums ein Maximum wird. Befindet ſich dagegen die Sonne auf der ſüdlichen Hemiſphäre des Himmels, ſo iſt auf der Nordhälfte der Erde der Tagbogen kleiner, der Nachtbogen größer, und am längſten wird die Nacht zur Zeit des Winterſolſtitiums.

Wie lang für einen beſtimmten Ort der Erde die Dauer des Tages zu einer gegebenen Zeit des Jahres ſei, kann man mit Hülfe eines Himmelsglobus leicht ermitteln. Man braucht nur die Axe PQ des Globus, Fig. 61, ſo gegen die Ebene des Horizontes HH zu neigen, wie es der Polhöhe des Ortes entſpricht, und alsdann diejenige Stelle der Ekliptik zu bezeichnen, an welcher ſich gerade die Sonne befindet. Man kann nun leicht mittelſt des Stundenkreiſes ſehen, wie viel Stunden der Tagbogen der Sonne beträgt. Soll z. B. ermittelt werden, wie groß der Tagbogen der Sonne am 1. Mai für das mittlere Deutſchland ſei, ſo hat man zunächſt den Globus ſo zu ſtellen, daß die Axe PQ einen Winkel von 50 Grad mit dem Horizont macht. Am 1. Mai iſt die Länge der Sonne $40^1/_2$ Grad, man hat alſo auf der Ekliptik $40^1/_2$ Grad vom Frühlingspunkte an nach Oſten zu zählen, um den Punkt zu finden, an welchem ſich gerade die Sonne befindet. Der Globus wird nun in diejenige Stellung gebracht, welche dem Aufgang des bezeichneten Punktes entſpricht, und die Stellung des Zeigers auf dem Stundenkreiſe gemerkt; alsdann wird die Kugel von Oſt nach Weſt bis zum Untergang des bezeichneten Punktes gedreht und die Größe der Drehung auf dem Stundenkreiſe abgeleſen. Man findet auf dieſe Weiſe für den Tagbogen der Sonne am 1. Mai im mittleren Deutſchland $14^1/_2$ Stunde.

Fig. 61.



Nach dieſem Verfahren iſt es auch leicht, die Dauer des längſten und des kürzeſten Tages für einen beliebigen Ort auf der Erde zu finden.

Dieſe Aufgabe läßt ſich auch ohne Globus mit Hülfe einer einfachen geometriſchen Conſtruction auflöſen.

Fig. 62 ſtelle die Erde zur Zeit des Winterſolſtitiums dar, und zwar auf eine Ebene projicirt, welche mit der Erdaxe parallel und rechtwinklig auf der

Ebene der Ekliptik ſteht. Alle Parallelkreiſe erſcheinen hier zur Linie verkürzt. — Die Linie *sv*, welche die beleuchtete Erdhälfte von der dunklen ſchei-

Fig. 62.

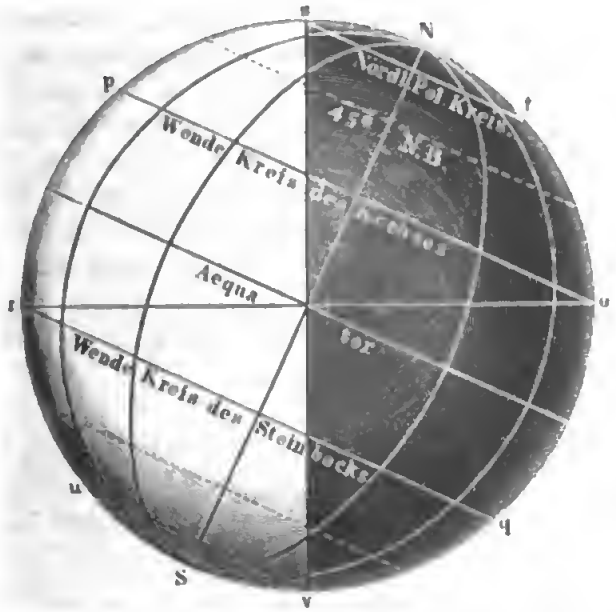
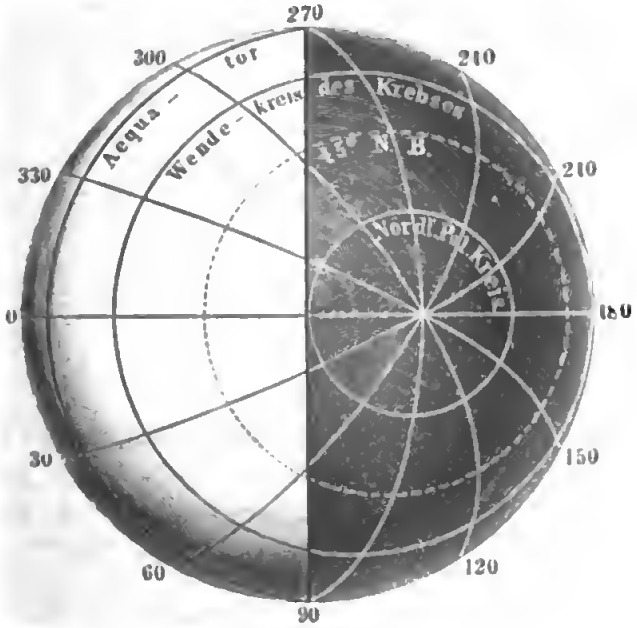


Fig. 63.



det, theilt den Aequator in zwei gleiche Theile, alle übrigen Parallelkreiſe aber in ungleiche Theile. Derjenige Theil eines Parallelkreiſes nun, welcher auf der erleuchteten Erdhälfte liegt, verhält ſich zum ganzen Kreisumfang wie die Dauer des kürzeſten Tages zu 24 Stunden. Um die Dauer des kürzeſten Tages für einen gegebenen Parallelkreis zu beſtimmen, hat man alſo nur zu ermitteln, wie groß der erleuchtete Bogen dieſes Parallelkreiſes iſt.

Um dies beſſer zu überſehen, iſt die Erde in ihrer dem Winterſolſtitium entſprechenden Lage, Fig. 63 (ſ. v. S.), auf die Ebene der Ekliptik projicirt, dargeſtellt. Man ſieht hier, wie in Fig. 62, daß um dieſe Zeit der ganze nördliche Polarkreis in Schatten liegt, daß für dieſen alſo die Dauer der längſten Nacht 24 Stunden beträgt, die Dauer des kürzeſten Tages alſo 0 iſt.

Von dem Parallelkreis 45 Grad nördlicher Breite ſind ungefähr 128 Grade erleuchtet. Da nun 15 Bogengrade einer Stunde entſprechen, ſo iſt alſo für den 45. Grad nördlicher Breite die Dauer des kürzeſten Tages $\frac{128}{15} = 8{,}5$ Stunden.

Ebenſo ergiebt ſich aus der Figur, daß für den nördlichen Wendekreis die Dauer des kürzeſten Tages zwiſchen 10 und 11 Stunden beträgt.

Die folgende Tabelle giebt die Dauer des längſten und des kürzeſten Tages für verſchiedene geographiſche Breiten an:

Breite.	Dauer des längſten Tages.	Dauer des kürzeſten Tages.	Breite.	Dauer des längſten Tages.	Dauer des kürzeſten Tages.
0°	12h 0′	12h 0′	40°	14h 51′	9h 9′
5	12 17	11 43	45	15 26	8 34
10	12 35	11 25	50	16 9	7 51
15	12 53	11 7	55	17 7	6 53
20	13 13	10 47	60	18 30	5 30
25	13 34	10 26	65	21 9	2 51
30	13 56	10 4	66° 32′	24 0	0 0
35	14 26	9 38			

Für Orte, welche innerhalb der Polarkreiſe liegen, wechſelt die Dauer des Tages von 0 bis 24 Stunden in dem Theil des Jahres, in welchem die Sonne noch auf- und untergeht. Die Anzahl der Tage aber, während welcher die Sonne ſtets über dem Horizont bleibt, ohne unterzugehen, und die Zahl der Tage, während welcher ſich die Sonne gar nicht über den Horizont erhebt, wechſelt mit der Breite. Die folgende Tabelle giebt die Anzahl dieſer Tage für verſchiedene nördliche Breiten von 66° 32′ bis 90° an.

Nordliche Breite.	Die Sonne geht nicht unter ungefähr in	Die Sonne geht nicht auf ungefähr in
66° 32′	1 Tag	1 Tag
70	65 Tagen	60 Tagen
75	103 »	97 »
80	134 »	127 »
85	161 »	153 »
90	186 »	179 »

Daß für die nördliche kalte Zone die Zahl der Tage, an welchen die Sonne nicht untergeht, größer iſt, als die Zahl der Tage, an welchen ſie unter dem Horizont bleibt, rührt daher, daß die Sonne überhaupt länger auf der nördlichen Hemiſphäre des Himmels verweilt als auf der ſüdlichen. Für die ſüdliche kalte Zone iſt die Zahl der Tage, an welchen die Sonne nicht aufgeht, gleich der Zahl der Tage, an welchen in gleicher nördlicher Breite kein Untergang ſtattfindet. In einer ſüdlichen Breite von 75 Grad bleibt die Sonne 103 Tage anhaltend unſichtbar, während ſie dann wieder 97 Tage lang nicht untergeht.

Wir haben hier die Tagesdauer betrachtet, wie ſie ſich aus rein geometriſchen Betrachtungen ergiebt, ohne Rückſicht auf den Einfluß der atmoſphäriſchen Strahlenbrechung und der Dämmerung zu nehmen. Wie durch dieſe Einflüſſe die Dauer des Tages verlängert wird, können wir erſt im zweiten Buche unterſuchen.

Wahre Geſtalt der Erdbahn. Wir haben geſehen, daß der ſcheinbare Durchmeſſer der Sonne im Laufe eines Jahres bald ab-, bald zunimmt. Wenn man nun die ſcheinbare Bewegung der Sonne in allen ihren Verhältniſſen und Beziehungen durch eine wirkliche Bewegung der Erde erklären will, ſo darf man die Sonne nicht in den Mittelpunkt der Erdbahn ſetzen, und zwar folgt aus den am Schluß des §. 37 entwickelten Gründen, daß die Excentricität der Erdbahn gleich $^1/_{60}$ ihres halben Durchmeſſers ſein muß. 41

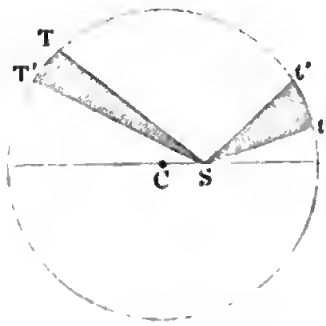
Um aber auch die Veränderungen der ſcheinbaren Geſchwindigkeit der Sonne mit den entſprechenden Variationen ihres Durchmeſſers und den daraus ſich ergebenden Veränderungen ihrer Entfernung von der Erde in Uebereinſtimmung zu bringen, muß man die Anſicht aufgeben, als ob die Erde ſich mit gleichförmiger Geſchwindigkeit in ihrer Bahn fortbewegte. Nach §. 37 verhalten ſich die Entfernungen zwiſchen Erde und Sonne am 1. Juli und am 1. Januar wie 18910 zu 19556. Die Quadrate dieſer Zahlen verhalten ſich wie 1 zu 1,0695, und dies iſt gerade auch das Verhältniß der in §. 26 bereits mitgetheilten täglichen Winkelgeſchwindigkeiten an den genannten Tagen; dar-

aus folgt alſo, daß die Winkelgeſchwindigkeit, mit welcher ſich die Erde, von der Sonne aus geſehen, fortbewegt, ſich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung beider Weltkörper.

Bezeichnen wir mit W_1 und W_f die von der Sonne aus geſehenen Winkelgeſchwindigkeiten der Erde für die Entfernungen 1 und f, ſo iſt demnach

$$W_f = \frac{W_1}{f^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

Fig. 64.



Nun iſt aber offenbar der Bogen TT', Fig. 64, welchen die Erde in einer gegebenen Zeit zurücklegt, dem Winkel TST' und der Entfernung TS proportional; bezeichnen wir alſo die den Entfernungen 1 und f entſprechenden Bogen mit B_1 und B_f, ſo haben wir:

$$B_1 = W_1 \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

$$B_f = W_f . f \quad \ldots\ldots \quad (3).$$

Setzen wir in Gleichung (3) den aus Gleichung (1) genommenen Werth von W_f, ſo kommt:

$$B_f = \frac{W_1}{f^2} . f = \frac{W_1}{f}$$

oder, wenn man nach Gleichung (2) B_1 für W_1 ſetzt:

$$B_f = \frac{B_1}{f},$$

das heißt in Worten: die in gleichen Zeiten von der Erde in ihrer Bahn zurückgelegten Bogen verhalten ſich umgekehrt wie die Entfernung der Erde von der Sonne.

Wenn ſich aber die in gleichen Zeiten von der Erde beſchriebenen Bogen TT' und tt', Fig. 64, umgekehrt verhalten wie die Entfernungen TS und tS, ſo folgt, daß der Inhalt des Dreiecks TST' dem Inhalt des Dreiecks tSt' gleich iſt.

Das obige Geſetz läßt ſich demnach auch folgendermaßen ausſprechen:

Die Geſchwindigkeit, mit welcher die Erde in ihrer Bahn fortſchreitet, iſt von der Art, daß der Leitſtrahl (radius vector), welchen man ſich von der Sonne zur Erde gezogen denken kann, in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beſchreibt.

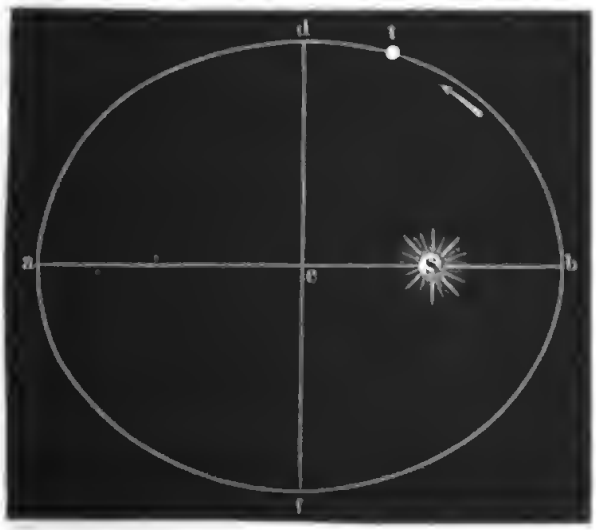
Dieſes Geſetz der Geſchwindigkeiten, welches unter dem Namen des erſten Kepler'ſchen Geſetzes bekannt iſt, gilt, wie wir im nächſten Capitel ſehen werden, in gleicher Weiſe auch für alle übrigen um die Sonne kreiſenden Planeten.

Nach dem zweiten Kepler'ſchen Geſetze iſt die Bahn aller Planeten, folglich auch die Bahn der Erde, welche durch Copernicus unter die Planeten

eingereiht worden iſt, kein Kreis, ſondern eine Ellipſe, und die Sonne befindet ſich in dem einen Brennpunkte derſelben.

Die große Axe *ab*, Fig. 65, dieſer Ellipſe führt den Namen der Abſidenlinie; die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte *c* iſt die Excentricität der Erdbahn; ſie beträgt ungefähr $^1/_{60}$ der halben großen Axe *ca*, und daraus folgt, daß die Ellipſe, welche die Erde innerhalb eines Jahres durchläuft, ſehr wenig von der Kreisgeſtalt abweicht. In unſerer Figur iſt die Excentricität viel zu groß genommen, damit die elliptiſche Geſtalt deutlicher hervortrete. Die kleine Axe *df* der Erdbahn verhält ſich zur großen Axe *ab* wie 0,99986 zu 1.

Fig. 65.



Wenn ſich die Erde in *b*, dem einen Endpunkte der großen Axe, befindet, ſo iſt ſie in der Sonnennähe, im Perihelium; ihre größte Entfernung von der Sonne erreicht ſie im anderen Endpunkte *a* der großen Axe; hier iſt die Erde in der Sonnenferne, im Aphelium.

Am 1. Januar iſt die Sonne im Perihelium, am 1. Juli iſt ſie im Aphelium.

Die Abſidenlinie macht einen Winkel von ungefähr 10 Grad mit der geraden Linie, welche die Solſtitialpunkte verbindet.

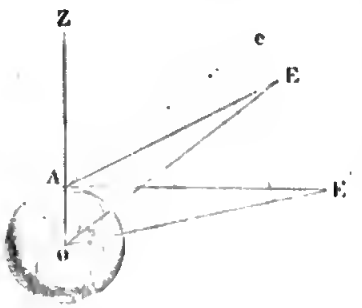
Im Perihelium iſt die fortſchreitende Bewegung der Erde in ihrer Bahn am ſchnellſten, im Aphelium iſt ſie am langſamſten.

Entfernung der Sonne von der Erde. Wir haben bisher nur 42
das Verhältniß betrachtet, in welchem die Entfernung der Sonne von der Erde im Laufe eines Jahres ſich ändert, ohne daß von der abſoluten Größe dieſer Entfernung die Rede geweſen wäre.

Zur Beſtimmung der Entfernung eines Geſtirnes von der Erde werden dieſelben Grundſätze in Anwendung gebracht, welche man auch anwendet, um die Entfernung eines unzugänglichen Punktes auf der Erde zu ermitteln. — Wenn man von einem Punkte *A* der Erdoberfläche aus ein Geſtirn *E*, Fig. 66 (ſ. f. S.), beobachtet, ſo ſieht man es nicht genau in derſelben Richtung, als wenn man ſich im Mittelpunkte *O* der Erde befände; *OE* oder die damit parallele Linie *Ae* macht einen kleineren Winkel mit der Verticalen

OAZ als die Viſirlinie AE. Der Winkel eAE oder der ihm gleiche Winkel AEO wird nun die Parallaxe des Geſtirnes E genannt. Die Parallaxe iſt alſo nichts Anderes als der Winkel, um welchen ſich die Zenithdiſtanz des Geſtirnes vermindern würde, wenn man vom Beobachtungsorte A zum Mittelpunkte der Erde herabſteigen und von dort aus das Geſtirn E beobachten könnte.

Fig. 66.



Die Parallaxe eines Geſtirnes wird ein Maximum ſein, wenn ſich daſſelbe in der Horizontalebene des Beobachtungsortes A befindet, wie E'. In dieſem Falle wird die Parallaxe mit dem Namen der Horizontalparallaxe bezeichnet. Die Horizontalparallaxe eines Geſtirnes iſt der Winkel, unter welchem der Halbmeſſer der Erde, von jenem Geſtirn aus geſehen, erſcheint.

Iſt der Durchmeſſer der Erde und die Horizontalparallaxe eines Geſtirnes bekannt, ſo kann man daraus die Entfernung deſſelben von der Erde berechnen.

Da der Mittelpunkt der Erde unzugänglich iſt, ſo kann die Horizontalparallaxe auch nicht unmittelbar gemeſſen werden. Um ſie zu finden, muß man gleichzeitig die Zenithdiſtanz des Geſtirnes mit großer Genauigkeit an zwei Orten der Erde meſſen, welche bei nahe gleicher geographiſcher Länge möglichſt weit von einander entfernt ſind. Aus dieſen Meſſungen läßt ſich dann, wie wir bald ſehen werden, die Horizontalparallaxe ableiten.

Je weiter ein Geſtirn von der Erde entfernt iſt, deſto kleiner wird ſeine Parallaxe, und deſto ſchwieriger wird es, ſie mit hinreichender Genauigkeit zu beſtimmen, weil alsdann die unvermeidlichen Beobachtungsfehler einen viel zu bedeutenden Bruchtheil des geſuchten Werthes ausmachen und die geringſte Verſchiedenheit im Werthe der Horizontalparallaxe ſchon enorme Veränderungen im Werthe der Entfernung des Geſtirnes nach ſich zieht. Die Parallaxe der Sonne iſt ſchon viel zu klein, als daß man ſie auf dem angedeuteten Wege mit einer Genauigkeit ermitteln könnte, welche auch nur eine angenähert richtige Beſtimmung der Entfernung der Sonne von der Erde zuließe; nur auf indirectem Wege läßt ſich dieſe für die Aſtronomie ſo wichtige Größe mit hinreichender Genauigkeit beſtimmen, und daher kommt es denn auch, daß man noch bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts ganz unrichtige Vorſtellungen von der Entfernung der Sonne hatte.

Man nahm dieſe Entfernung früher ſtets zu klein an. Nach Pythagoras ſollte die Sonne 16- bis 18000 Meilen von der Erde entfernt ſein. Ariſtarch von Samos beſtimmte die Horizontalparallaxe der Sonne zu 3', wonach ihre Entfernung von der Erde 1146 Erdhalbmeſſer betragen würde.

Kepler war geneigt, die fragliche Parallaxe auf 1′ zu reduciren und Halley nahm sie nur zu 25″. Alle diese Werthe waren aber noch zu groß.

Was nun die indirecten Methoden zur Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde betrifft, so gründen sie sich darauf, daß man zunächst die Entfernung solcher Gestirne zu bestimmen sucht, welche entweder, wie der Mond, der Erde stets näher sind als die Sonne, oder welche, wie Mars und Venus, wenigstens in gewissen Zeiten ihr näher kommen, und alsdann von diesen auf die Entfernung der Sonne schließt.

Wie wir im fünften Capitel sehen werden, ist der Mond sehr nahe um 60 Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte der Erde entfernt. Wenn man nun in dem Moment, in welchem der Mond gerade das erste oder letzte Viertel zeigt, wo also die Gränze zwischen dem erleuchteten und dem dunklen Theile des Mondes genau eine gerade Linie bildet, den Winkelabstand zwischen Sonne und Mond mißt, so hat man damit die nöthigen Data, um die Entfernung der Sonne von der Erde zu berechnen. In Fig. 67 sei T die Erde, L der Mond, S die Sonne. In dem besprochenen Zeitpunkte steht die Linie SL rechtwinklig auf LT; da man nun den Winkel STL, den wir mit β bezeichnen wollen, gemessen hat, so ergiebt sich

Fig. 67.

$$TS = \frac{LT}{cos.\ \beta}.$$

Auf diesem Wege hat in der That Riccioli die Entfernung der Sonne von der Erde annähernd genau bestimmt; einer größeren Schärfe ist jedoch diese Methode nicht fähig, weil man nicht mit großer Genauigkeit den Augenblick ermitteln kann, wo jene Lichtgränze des Mondes eine gerade Linie ist.

Hat man die Horizontalparallaxe des Mars oder der Venus zur Zeit ihrer Erdnähe ermittelt, so kann man aus ihnen mit Hülfe der Kepler'schen Gesetze, die wir im nächsten Capitel besprechen werden, auf die Horizontalparallaxe der Sonne schließen. So bestimmte Lacaille in der Mitte des vorigen Jahrhunderts die Horizontalparallaxe der Sonne zu 10″, von dem Werthe ausgehend, den er für die Parallaxe des Mars gefunden hatte.

Der Vorübergang der Venus vor der Sonnenscheibe bietet endlich ein Mittel, die Entfernung der Sonne mit großer Genauigkeit zu bestimmen, wie dies im vierten Capitel näher besprochen werden soll. Solche Durchgänge der Venus finden aber nur selten Statt; der letzte war 1769, der nächste wird 1874 sein.

Nach den Beobachtungen des Venusdurchganges vom Jahre 1769 hat

man die Horizontalparallaxe der Sonne gleich 8,6″ gefunden, ein Werth, welcher wohl bis auf $^1/_4$ Secunde genau iſt.

Die Parallaxe der Sonne ändert ſich natürlich, wenn ſie ſich von der Erde entfernt oder ſich ihr nähert. Der Werth von 8,6″ entſpricht der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, welche demnach gleich 23984 Erdhalbmeſſern iſt. In runder Zahl wollen wir die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde gleich 24000 Erdhalbmeſſern annehmen, da die Differenz zwiſchen dieſer und der obigen Zahl ſo gering iſt, daß ſie innerhalb der Gränze der Beobachtungsfehler liegt.

Aus dem oben mitgetheilten Werthe der Excentricität der Erdbahn ergiebt ſich dann, daß die Entfernung der Erde von der Sonne im Perihelium 23600, im Aphelium aber 24400 Erdhalbmeſſer beträgt.

Da der Erdhalbmeſſer gleich 860 geographiſchen Meilen iſt (Seite 58), ſo beträgt demnach die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde in runder Zahl 20 Millionen geographiſche Meilen.

Um dieſen Raum zu durchlaufen, würde eine Kanonenkugel (1000′ Geſchwindigkeit in der Secunde) eine Zeit von 12 Jahren brauchen.

43 **Dimensionen der Sonne.** Nach §. 37 erſcheint uns der Durchmeſſer der Sonne, wenn ſie ſich in ihrer mittleren Entfernung von der Erde befindet, unter einem Winkel von 32′ 3,3″ oder 1923,3″, während umgekehrt, dem vorigen Paragraphen zufolge, die Erde von der Sonne aus geſehen, nur unter einem Winkel von 17,2″ erſcheint. Der Durchmeſſer der Sonne iſt demnach $\frac{1923,3}{17,2}$, alſo 112mal ſo groß als der Durchmeſſer der Erde.

Daraus folgt dann weiter, daß der körperliche Inhalt der Sonne 1404928mal größer iſt, als das Volumen der Erde.

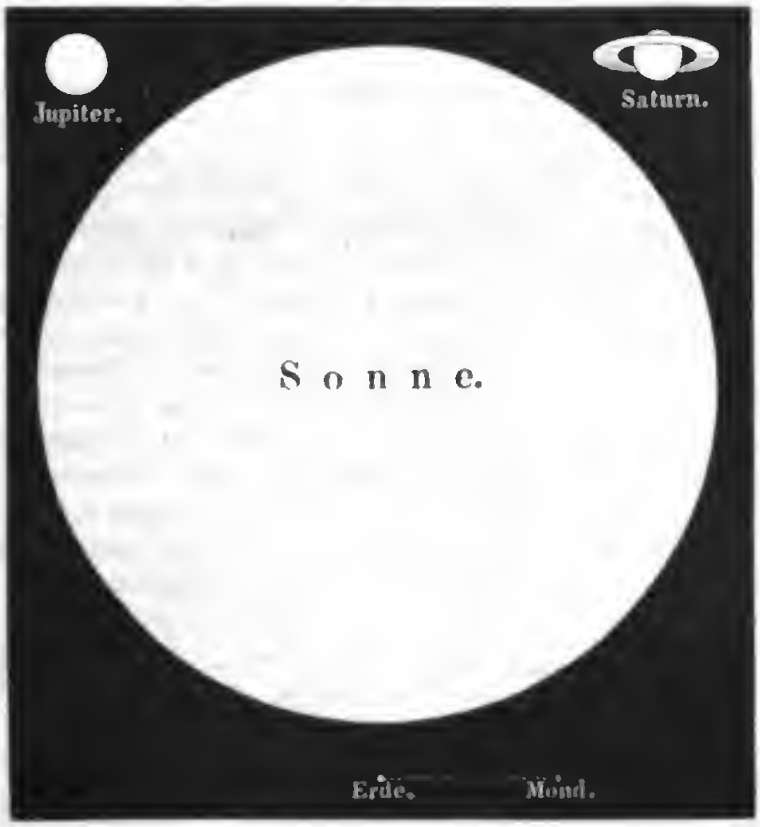
Der Durchmeſſer der Sonne beträgt 190000, der Umfang derſelben nahezu 580000 geographiſche Meilen.

Die Fig. 68 dient dazu, eine Vorſtellung von dem Größenverhältniß der Sonne und der Erde zu geben. Unterhalb des großen weißen Kreiſes, welcher die Sonne darſtellt, befindet ſich ein ganz kleiner weißer Kreis, welcher die Erde im richtigen Verhältniß zur Sonne darſtellt. Rechts von der Erde ſieht man in verhältnißmäßiger Entfernung den Mond. Man ſieht, daß eine Kugel, deren Halbmeſſer die Entfernung des Mondes von der Erde iſt, kaum mehr als den halben Radius der Sonne haben würde. Wenn alſo die Sonne hohl wäre und die Erde ſich in ihrem Mittelpunkte befände, ſo könnte der Mond in ſeiner jetzigen Entfernung von der Erde noch um dieſelbe kreiſen, und würde doch der äußeren Sonnenhülle nur unbedeutend näher ſein als ihrem Mittelpunkte.

Die Mittelpunkte der beiden Kreiſe, welche in Fig. 68 Sonne und Erde im richtigen Größenverhältniß darſtellen, müßten in eine Entfernung von 16,5 Metern gebracht werden, wenn dieſe Entfernung ſich zu dem Durchmeſſer der

Sonne ebenſo verhalten ſollte wie die Entfernung der Erde von der Sonne zum Durchmeſſer der Sonne.

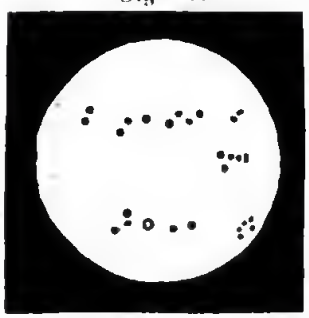
Fig. 68.



In den oberen Ecken der Fig. 68 ſieht man noch im richtigen Größenverhältniß die Planeten Jupiter und Saturn dargeſtellt, von welchen ſpäter die Rede ſein wird.

Sonnenflecken. Wenn man die Sonne durch ein Fernrohr betrachtet, 44
wobei man aber ihres ſtarken Glanzes wegen ein ſehr dunkelfarbiges Glas (Blendglas, Sonnenglas) vor das Ocular bringen muß, ſo bemerkt man auf ihrer Oberfläche bald mehr, bald weniger dunkle Flecken, ungefähr in der Art, wie es Fig. 69 zeigt. Wenn man die Beobachtung nach einigen Tagen wiederholt, ſo ergiebt ſich, daß ſie auf der Sonnenſcheibe eine fortſchreitende Bewegung von Oſt nach Weſt haben. Nachdem ſie in der angegebenen Richtung die ganze Sonnenſcheibe durchlaufen haben, verſchwinden ſie am weſtlichen Rande, um nach einigen Tagen auf der Oſtſeite wieder zu erſcheinen.

Fig. 69.



Diese Bewegung der Sonnenflecken deutet auf eine Rotation der Sonne, und in der That hat sich aus sorgfältigen und vielfach wiederholten Beobachtungen derselben ergeben, daß sich die Sonne in 27,3 Tagen um ihre Axe dreht und daß der Sonnenäquator einen Winkel von 7° 9′ mit der Ebene der Ekliptik macht.

Die Sonnenflecken sind im Allgemeinen sehr veränderlicher Natur; bald sind sie zahlreicher und größer, dann wieder seltener und kleiner; manchmal ist die Sonne ganz fleckenfrei. — Bald sieht man neue Flecken entstehen und allmälig größer werden, dann dieselben wieder abnehmen und allmälig verschwinden; ebenso zeigen sie stets mehr oder weniger bedeutende Formveränderungen.

Im Jahre 1833 war die Sonne an 139, im Jahre 1843 war sie an 149 Tagen fleckenlos und es zeigten sich in diesen Jahren überhaupt, wie auch im Jahre 1834 die Flecken nur wenig zahlreich; während in den Jahren 1828 und 1829, ferner 1838 und 1839 die Sonne sehr viele Flecken zeigte und im Laufe dieser Jahre nie ohne Flecken gesehen wurde. Im Jahre 1828 erschien sogar ein mit bloßem Auge sichtbarer Fleck. Nach den Beobachtungen von Schwabe in Dessau, welcher sich seit 1826 ganz speciell mit diesem Gegenstand beschäftigt hat, scheint in der Ab- und Zunahme der Flecken eine Periodicität von beiläufig 10 Jahren stattzufinden. Wolf aber hat nachgewiesen (Neue Untersuchungen über die Periode der Sonnenflecken, Bern 1852), daß auch in den zwei Jahrhunderten zwischen Fabricius, dem Entdecker der Sonnenflecken, und Schwabe, die Sonnenflecken periodisch aufgetreten sind. Mit Hülfe älterer und neuerer Beobachtungen hat Wolf die Periode genauer auf $11^1/_9$ Jahr bestimmt.

Das letzte Minimum der Sonnenflecken fiel auf den Anfang des Jahres 1856.

Man vermuthete, daß die größere oder geringere Häufigkeit der Sonnenflecken einen Einfluß auf unsere Witterungsverhältnisse ausüben müsse, daß fleckenreichere Jahre kühler sein müßten; die Erfahrung scheint eine solche Annahme nicht zu bestätigen.

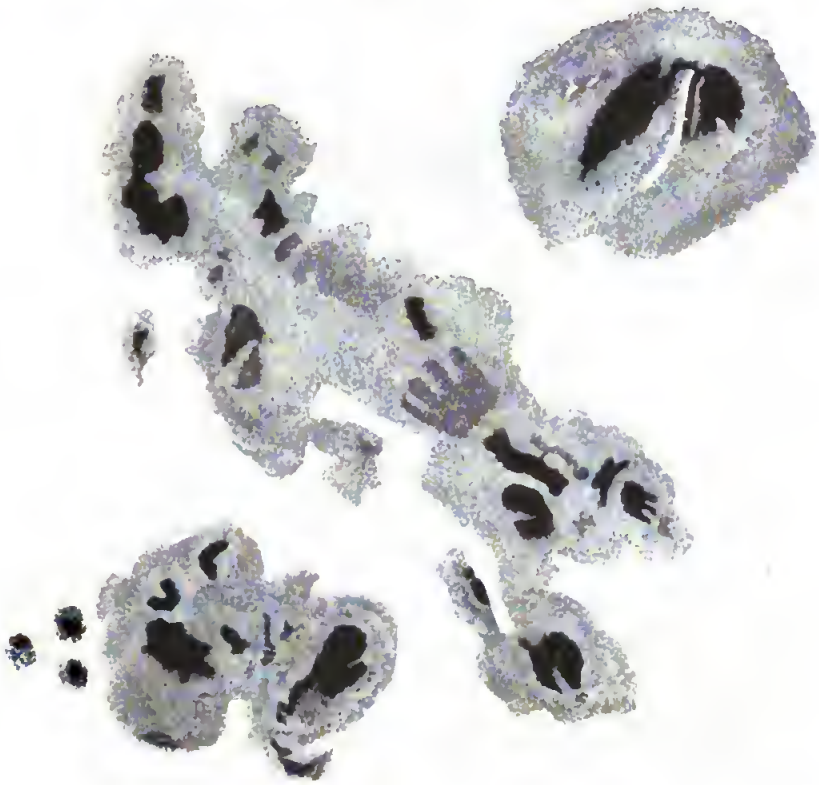
Bei genauerer Betrachtung der Sonnenflecken erkennt man, daß der eigentliche ganz dunkle Kern derselben gleichsam mit einem Halbschatten umgeben ist, welcher den Namen der Penumbra führt.

Die Contouren des Kerns sowohl wie der Penumbra sind unregelmäßig gestaltet und meist liegen mehrere Kerne in einer gemeinschaftlichen Penumbra, wie Fig. 70 zeigt, welche eine getreue Darstellung wirklich beobachteter Sonnenflecken ist.

Durch ein farbiges Sonnenglas kann man natürlich die wahre Farbe der Sonnenflecken nicht sehen; um diese zu erkennen, erzeugte Busolt mittelst eines 6füßigen Fernrohres ein Sonnenbild auf weißem Papier oder auf einer Scheibe von feinem Gyps, welche auf eine Spiegelplatte war gegossen worden. Die Sonnenscheibe selbst erschien nun farblos, aber durchweg hellviolett gesprenkelt. Die Flecken bestanden aus dunkelvioletten Kernen, welche mit einem prächtig gelben Hofe umgeben waren.

In der Nähe der Flecken zeigen ſich häufig Stellen, welche heller ſind als der übrige Theil der Sonnenſcheibe und welche man Sonnenfackeln nennt.

Fig. 70.



Wenn ein Sonnenflecken in die Nähe des weſtlichen Sonnenrandes gelangt, ſo verſchwindet die Penumbra zuerſt auf der öſtlichen Seite des Fleckens, wie dies Fig. 71 angedeutet iſt, wo *abc* ein Stück des weſtlichen Sonnenrandes darſtellt. Dieſer Umſtand beweiſt, daß die Flecken ſich nicht auf der Oberfläche der Sonne befinden, ſondern daß ſie einer tiefer liegenden Schicht angehören, und ſo haben denn die Sonnenflecken zu der folgenden, beſonders von Herſchel ausgebildeten Anſicht über die Conſtitution der Sonne geführt:

Fig. 71.

Der eigentliche Kern der Sonne iſt eine dunkle Kugel, welche ringsum von einer Gasatmoſphäre umgeben iſt. In dieſer Atmoſphäre ſchweben nun zwei wolkenartige Schichten, von denen die äußere ſtark leuchtende die Photoſphäre genannt wird. Die innere Wolkenſchicht dagegen iſt entweder nur ſchwach leuchtend oder vielleicht auch nur durch die äußere erleuchtet.

Es erscheinen nun Sonnenflecken, so oft die Photosphäre und die untere Wolkenschicht durch irgend eine unbekannte Ursache durchbrochen werden und man durch die Oeffnungen auf den dunklen Kern der Sonne hinabsehen kann, wie Fig. 72 deutlich macht, welche ein Stück des idealen Durchschnitts der Sonne darstellt. Die Penumbra erscheint da, wo man durch eine Oeffnung der

Fig. 72.

Photosphäre auf die innere Wolkenhülle sehen kann, während die ganz dunklen Kerne der Flecken nur da gesehen werden, wo man durch die Oeffnungen beider Hüllen hindurch den dunklen Centralkörper erblickt. Der Anblik der Figur zeigt auch, wie es komme, daß man, schräg in die Oeffnungen hineinblickend, wie es der Fall ist, wenn sich die Flecken nahe am Rande der Sonne befinden, nur auf der einen Seite, nämlich gegen den Rand hin, die Penumbra sieht. Der Abstand der Photosphäre von dem dunklen Sonnenkerne beträgt 300 bis 500 Meilen. Da man Sonnenflecken von $1^1/_2$ bis 2 Minuten scheinbarem Durchmesser beobachtet hat, so folgt, daß ihr wahrer Durchmesser bis auf 10000 Meilen und darüber steigen kann.

So wie nun die Photosphäre an einzelnen Stellen ganz durchbrochen wird, so muß auch an anderen Stellen und namentlich in der Nähe der Flecken eine größere Anhäufung der leuchtenden Masse stattfinden, und so erklären sich die Sonnenfackeln.

Die Sonnenflecken wurden zum ersten Male von Johann Fabricius im Jahre 1611 beobachtet; Galiläi entdeckte sie im Jahre 1612. Scheiner wandte zu ihrer Beobachtung zuerst die bereits von Apian empfohlenen Blendgläser an, deren Nichtgebrauch wohl vorzugsweise Galiläi's Erblindung veranlaßte.

45 **Die Sonnenatmosphäre.** Wenn während einer totalen Sonnenfinsterniß die eigentliche Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt ist, so erscheint die dunkle Mondscheibe von einem Strahlenkranze umgeben, welcher sich etwa einer Glorie (dem sogenannten Heiligenscheine) vergleichen läßt. Tab. VI.

kann eine Vorſtellung von dieſer merkwürdigen Erſcheinung geben, welche darauf hindeutet, daß ſich die Sonnenatmoſphäre auch noch über die Photoſphäre hinaus erſtreckt. Dieſe entweder ſelbſt nur ſchwach leuchtende oder auch nur von der Photoſphäre erleuchtete Atmoſphäre iſt es nun, welche höchſt wahrſcheinlich die Erſcheinung der erwähnten Strahlenkränze veranlaßt.

Die ſehr ſorgfältig beobachtete totale Sonnenfinſterniß von 1842 lehrte noch Einzelnheiten dieſer merkwürdigen Erſcheinung kennen, welche wohl auch früher ſchon bemerkt, aber nicht genügend beachtet worden war: es zeigten ſich nämlich an mehreren Stellen an dem dunklen Mondrande roſenfarbene Hervorragungen (Protuberanzen), welche große Aehnlichkeit mit ſchneebedeckten Bergſpitzen zeigten, die von der untergehenden Sonne beleuchtet ſind.

Durch die Beobachtungen von 1842 aufmerkſam gemacht, wandten mehrere Aſtronomen bei der totalen Sonnenfinſterniß, welche am 28. Juli 1851 im mittleren Rußland, dem nördlichen Deutſchland und dem ſüdlichen Schweden ſtattfand, gerade auf dieſen Punkt ihre Aufmerkſamkeit. — Buſch, Director der Königsberger Sternwarte, beobachtete das Phänomen gemeinſchaftlich mit dem jüngeren Littrow und einigen anderen Freunden der Wiſſenſchaft zu Rixhöft (7 Meilen nordweſtlich von Danzig). Fearnley, einer der Beobachter von Rixhöft, hat nach ſeinen Beobachtungen eine Zeichnung entworfen, welche nach dem Zeugniß von Buſch die Erſcheinung ſehr treu darſtellt. Tab. VI. iſt eine Copie dieſer Abbildung. An zwei Stellen, bei *a* und bei *b*, zeigten ſich blaßrothe kegel- oder pinſelförmige Lichtbüſchel, während die eigenthümlich geſtalteten Protuberanzen bei *c* einen entſchieden wolkenartigen Charakter zeigten. Dieſe durch Form und Größe ausgezeichnete Protuberanz trat aber gerade an einer Stelle hervor, in deren Nähe man vorher auf der Sonne eine große Fleckengruppe, in deren Umgebung ſich ſtarke Sonnenfackeln befanden, beobachtet hatte.

Eine ähnliche Beobachtung war auch bei Gelegenheit einer im Jahre 1850 auf der Südſee ſichtbaren Sonnenfinſterniß gemacht worden.

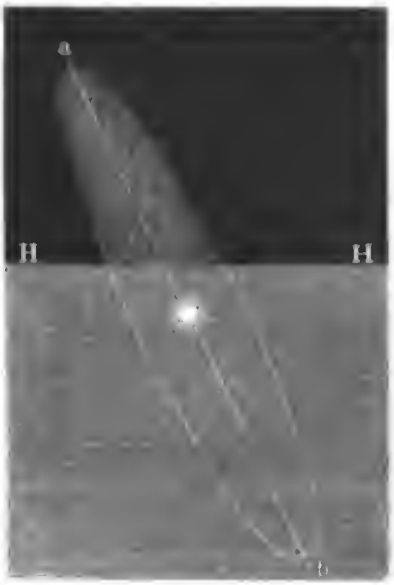
Dieſer Zuſammenhang zwiſchen Sonnenflecken und den erwähnten Protuberanzen deutet nun darauf hin, daß, wenn durch irgend unbekannte Kräfte die innere Wolkenhülle der Sonne und die Photoſphäre durchbrochen werden, wolkenartige Maſſen noch in die über die Photoſphäre hinausgehende Sonnenatmoſphäre hinausgetrieben werden.

Daß die Erſcheinung des Strahlenkranzes von einem zum Sonnenkörper ſelbſt gehörigen Stoffe herrühre, geht auch aus einer gleichfalls von Buſch gemachten Beobachtung hervor, daß während der Dauer der totalen Finſterniß die Protuberanzen auf der Oſtſeite fortwährend kleiner werden, indem der Mondrand ſie mehr und mehr zudeckt, während umgekehrt die Protuberanzen auf der Weſtſeite mehr und mehr hinter dem Mondrande hervorzuſteigen ſcheinen. Dasſelbe beſtätigt auch Struve, welcher durch genaue Meſſungen dargethan hat, daß das Fortrücken des Mondrandes gegen die Protuberanzen der Geſchwindigkeit entſprach, mit welcher der Mond ſich über die Sonnenſcheibe fortbewegte.

Lamont hat in neuerer Zeit die Anſicht aufgeſtellt, daß die eben beſprochenen Protuberanzen durch kleine Wolkenmaſſen unſerer Erdatmoſphäre erzeugt werden, welche im Schattenkegel des Mondes durch die daſelbſt eintretende Temperaturerniedrigung entſtehen (Jahresbericht der Münchner Sternwarte für 1858).

46 **Das Zodiacallicht.** Um die Zeit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche erſcheint manchmal an ſternhellen Abenden, wenn die letzte Spur der Dämmerung verſchwunden iſt, am weſtlichen Horizonte ein ſchwacher Lichtſtreifen, meiſt noch matter als das Licht der Milchſtraße, welcher die Form einer ſchief auf dem Horizont ſtehenden Pyramide hat.

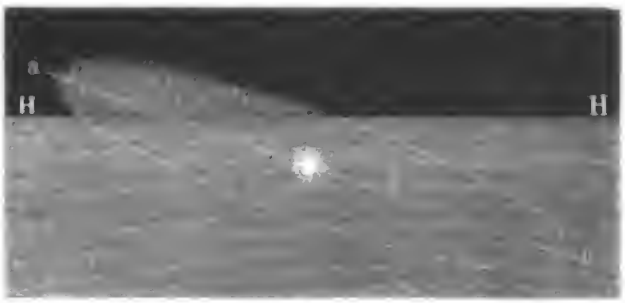
Fig. 73.



Die Baſis dieſes unten breiter werdenden Lichtkegels erſcheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen iſt; die Axe deſſelben iſt gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher ſich eben die ſchon untergegangene Sonne befindet; ſie fällt faſt ganz mit der Ebene des Sonnenäquators zuſammen, der ganze Streifen fällt alſo am Himmel nahezu in den Thierkreis, da die Ebene des Sonnenäquators nur einen Winkel von 7° mit der Ebene der Ekliptik macht; daher der Name Zodiacallicht.

In unſeren Gegenden bildet die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizont.

Fig. 74.



Mit ſeltener Schönheit erſchien dieſes Phänomen im Februar und März 1856. Zuerſt beobachtete ich daſſelbe am 25. Februar gegen 8 Uhr Abends; es blieb bis gegen 9 Uhr ſichtbar; außerdem ſah ich es noch bis zum 8. März an ſieben Abenden ungefähr um dieſelbe Zeit. An den folgenden heiteren

Abenden wurde das Zodiacallicht durch den wachsenden Mond unsichtbar gemacht, und ich beobachtete dasselbe erst wieder an den Abenden vom 24. bis zum 30. März.

Diese häufige und ausgezeichnete Erscheinung des Zodiacallichts gab mir Gelegenheit, von demselben eine möglichst treue Abbildung Tab. VI[a]. machen zu lassen, und zwar mit allen Sternen, wie sie gerade zu jener Zeit am westlichen Himmel standen.

Am östlichen Himmel erscheint das Zodiacallicht wohl auch und zwar des Morgens vor Sonnenaufgang zur Zeit des Herbstäquinoctiums, aber doch nie so lichtstark wie zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums am Abendhimmel.

Daß das Zodiacallicht selbst im Frühjahr selten wahrgenommen wird, beruht nur darauf, daß gerade im Februar und März der Himmel Abends selten so rein ist, wie es zur Wahrnehmung einer so zarten Lichterscheinung nothwendig ist.

Von den verschiedenen Umständen, unter welchen das Zodiacallicht erscheint, kann man sich am besten Rechenschaft geben, wenn man sich vorstellt, daß die Sonne von einer ungeheuren linsenförmig abgeplatteten Atmosphäre umgeben sei, in deren Mittelpunkt sie steht, deren größte Ausdehnung in die Ebene der Ekliptik fällt. Eine solche Atmosphäre würde sich von der Erde aus gesehen ungefähr so darstellen, wie Fig. 72 zeigt; da sie aber nur ein äußerst schwaches Licht ausstrahlt, so kann sie nicht wahrgenommen werden, so lange die Sonne selbst noch über dem Horizont steht, sondern entweder nur vor Sonnenaufgang oder nach Sonnenuntergang.

Ferner ist die Sichtbarkeit des Zodiacallichts an die Bedingung geknüpft, daß der Punkt a der fingirten Sonnenatmosphäre möglichst spät nach der Sonne untergeht, daß also die große Axe ab dieser Sonnenatmosphäre einen möglichst großen Winkel mit dem Horizont HH macht. Da nun aber diese große Axe nahezu mit der Ekliptip zusammenfällt, so wird das Zodiacallicht vorzugsweise dann sichtbar sein, wenn in den Morgen- oder Abendstunden die Ekliptik möglichst steil aufgerichtet erscheint. Für die nördliche Erdhälfte erscheint aber die Ekliptik am steilsten aufgerichtet, wenn der Frühlingspunkt im westlichen, der Herbstpunkt im östlichen Horizont steht, der Sommersolstitialpunkt aber culminirt. In den Abendstunden ist dies nun im Frühjahr, in den Morgenstunden ist es im Herbst der Fall und daraus erklärt sich, warum das Zodiacallicht bei uns vorzugsweise in den oben bezeichneten Zeiten gesehen wird.

Den kleinsten Winkel macht die Ekliptik mit dem Horizont, wenn der Herbstpunkt eben unter-, der Frühlingspunkt eben aufgeht und der Wintersolstitialpunkt culminirt. Im mittleren Deutschland macht alsdann die Axe des Zodiacallichts nur einen Winkel von ungefähr 17° mit dem Horizont, wie dies Fig. 73 angedeutet ist. Diese Lage hat das Zodiacallicht in den Morgenstunden des Frühjahrs und in den Abendstunden des Herbstes; es sind dies für die Sichtbarkeit des Zodiacallichts die ungünstigsten Zeiten, wie man nach den obigen Auseinandersetzungen leicht übersieht.

Je mehr man ſich dem Nordpol nähert, deſto mehr nimmt der Winkel ab, welchen die Ekliptik mit dem Horizont macht, deſto ungünſtiger werden alſo die Verhältniſſe zur Beobachtung des Zodiacallichts. Umgekehrt werden dieſelben immer günſtiger, wenn man ſich der Aequatorialzone nähert, einmal weil alsdann der Winkel, welchen die Axe des Zodiacallichts mit dem Horizont macht, immer mehr wächſt und dann auch, weil in den Tropen der Himmel ungleich reiner iſt als in höherer Breite. Deshalb iſt denn auch zwiſchen den Wendekreiſen die Erſcheinung des Zodiacallichts nicht allein weit brillanter, ſondern auch weit häufiger, ſo daß Humboldt daſſelbe einen beſtändigen Schmuck der Tropennächte nennt.

Auf der ſüdlichen Hemiſphäre iſt die Zeit des Herbſtäquinoctiums die günſtigſte Periode zur Beobachtung des Zodiacallichtes am Abendhimmel.

Während bei uns die Spitze des Zodiacallichts ſtets nach Süden gerichtet iſt, erſcheint auf der ſüdlichen Erdhälfte die Lichtpyramide des Zodiacallichts nach Norden geneigt, ſo daß am Abendhimmel der Scheitel des Lichtkegels rechts von der Baſis erſcheint, wie man dies nach Fig. 75 ſieht, welche das Zodiacallicht darſtellt, wie es nach einer Zeichnung von Ludwig Becker am 11. Octo-

Fig. 75.

ber 1858 zu Melbourne in Australien beobachtet wurde. Ueber dem Gipfel des Zodiacallichtes erblickte man an jenem Abend in der Nähe der Mondsichel Venus und Antares, während in einiger Entfernung nach Norden hin (rechts von dem Zodiacallicht unsrer Figur) der Donati'sche Komet stand, welcher am 11. October zu Melbourne zum ersten Male sichtbar war.

Was die Erklärung des Zodiacallichts betrifft, so sind bis jetzt zweierlei Meinungen darüber aufgestellt worden; nach Mairan's Erklärung ist das Zodiacallicht die Atmosphäre der Sonne, welche entweder selbstleuchtend ist, oder von der Sonne erleuchtet wird; diese Atmosphäre ist wegen des schnellen Umschwungs der Sonne so stark abgeplattet, daß sie als ein in der Richtung des Sonnenäquators liegender Streifen erscheint; aus den Gesetzen der Gravitation läßt sich aber darthun, daß eine etwaige Sonnenatmosphäre sich nicht bis zur Mercursbahn erstrecken kann. Weit wahrscheinlicher ist dagegen die andere Ansicht, nach welcher die Erscheinung des Zodiacallichts einem um die Sonne herumliegenden Nebelringe zuzuschreiben ist.

Viertes Capitel.

Die Planeten.

47 **Scheinbare Bewegung der Planeten.** Außer der Sonne und dem Monde giebt es noch andere Gestirne, welche zwar im Ansehen den Fixsternen ähnlich, dennoch ihre Stellung unter denselben fortwährend ändern, und deshalb Wandelsterne oder Planeten genannt werden.

Den Alten waren diejenigen Planeten bekannt, welche mit bloßem Auge sichtbar sind. Es sind deren fünf: Mercur ☿, Venus ♀, Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄.

Die Bahnen dieser älteren Planeten liegen der Sonnenbahn so nahe, daß sie sich nur um einige Grade nördlich oder südlich von der Ekliptik entfernen. Die Gestalt dieser Bahnen ist aber weit verwickelter als die der Sonnenbahn, wie man sich aus den Figuren 76, 77 und 78 überzeugen kann.

Fig. 76 stellt die Bahn der Venus im Jahre 1847 dar. Vom 1. Januar bis zum 5. September erscheint sie noch ziemlich einfach; die Venus bewegte sich während dieser Zeit wie die Sonne von West nach Ost und ihre Bahn ist der Sonnenbahn ziemlich ähnlich; dann aber bildet sie, eine Zeitlang sich in entgegengesetzter Richtung, d. h. von Ost nach West bewegend, eine förmliche Schleife.

Aehnliche Erscheinungen bieten alle Planeten. Im größten Theil ihrer Bahn bewegen sie sich von West nach Ost, sie sind dann rechtläufig, während eine kürzere Zeit hindurch ihre Bewegung die entgegengesetzte Richtung hat, d. h. rückläufig ist.

Bei dem kleinen Maßstabe der Fig. 76 ist natürlich keine große Genauigkeit möglich, deshalb ist ein Theil der Venusbahn des Jahres 1847, und zwar gerade derjenige, welcher die Schleife enthält, in Fig. 77 (auf Seite 118) in größerem Maßstabe dargestellt.

Fig. 76.

In Fig. 78 (auf Seite 120) findet man die scheinbare Bahn des Saturn für die Jahre 1852 und 1853. Dieselbe Figur zeigt auch ein Stück der Mercursbahn von 1852.

Den Winkelabstand eines Planeten von der Sonne nennt man seine Elongation.

Ein Planet erscheint stationär zur Zeit, wo seine rechtläufige Bewegung in eine rückläufige, oder umgekehrt die rückläufige Bewegung wieder in die rechtläufige übergeht; denn in dieser Zeit sind die Ortsveränderungen der Planeten sehr unbedeutend.

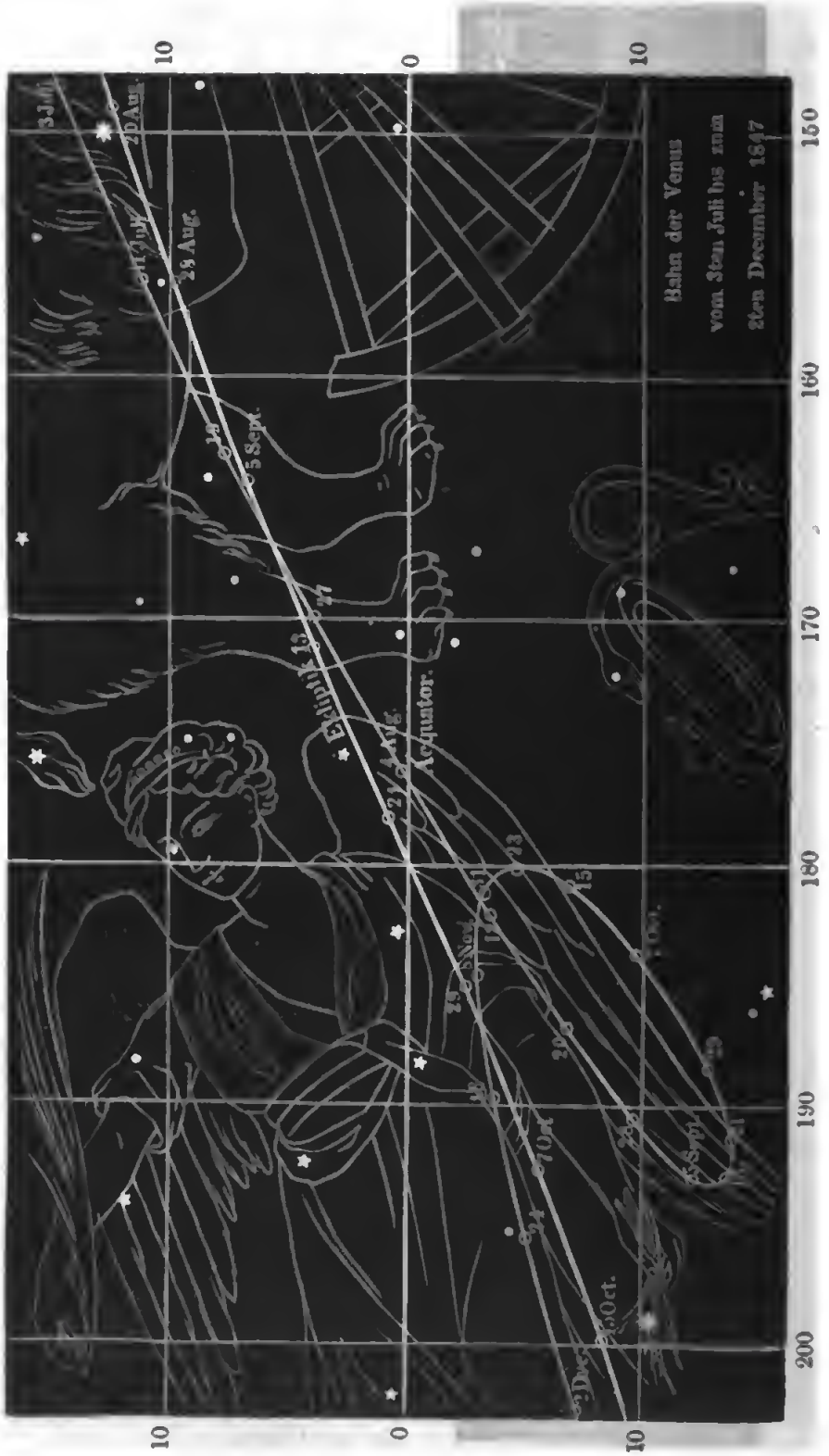
Zwei der genannten Planeten, Mercur und Venus, entfernen sich nie weit von der Sonne. Für den Mercur ist die größte Elongation 22°, für die Venus kann sie bis auf 48° wachsen. Deshalb sind diese beiden, welche die unteren Planeten genannt werden, auch nur kurz vor Sonnenaufgang am östlichen, oder nach Sonnenuntergang am westlichen Himmel sichtbar.

Die übrigen Planeten, welche die oberen Planeten genannt werden, können sich dagegen um alle Winkeldistanzen von der Sonne entfernen.

Wenn ein Planet gleiche Rectascension mit der Sonne oder mit einem anderen Planeten hat, wenn sie also zusammen auf- und untergehen, so sagt man, sie seien in Conjunction, und bezeichnet dies durch ☌. Wenn man z. B. in einem astronomischen Jahrbuche findet, daß für den 10. Juli 1854 ♀☌♄, so heißt das, daß an dem genannten Tage Venus und Saturn in Conjunction sind, also (fast) gleichzeitig durch den Meridian gehen.

Wenn ein Planet um 90° von der Sonne absteht, so sagt man, er sei mit der Sonne in Quadratur, und

Fig. 77.


Bahn der Venus
vom 3ten Juli bis zum
2ten December 1847
Ekliptik
Aequator.
28 Aug.
5 Sept.
20 Aug.
3 Juli
10
0
10
150
160
170
180
190
200

bezeichnet dies durch □. So war z. B. für den 8. September 1854 ♄ □ ☉ d. h. an diesem Tage stand Saturn um 90° von der Sonne ab, die Differenz in der Culminationszeit der Sonne und des Saturn betrug also 6 Stunden.

Wenn ein Planet um 180° von der Sonne absteht, so daß er um Mitternacht culminirt, so sagt man, daß er in Opposition sei, und bezeichnet dies durch ☍. Am 15. Juli 1854 war ♃ ☍ ☉.

Nur die oberen Planeten können, dem oben Gesagten zufolge, mit der Sonne in Quadratur und in Opposition kommen; Mercur und Venus niemals. Dagegen unterscheidet man bei den unteren Planeten eine obere und eine untere Conjunction. Die erstere findet Statt, wenn der Planet von der Westseite der Sonne auf die Ostseite tritt; die untere Conjunction dagegen ist diejenige, wenn der Planet in der Richtung von Ost nach West fortschreitend die Sonne passirt.

Betrachten wir den Lauf der Planeten näher, so bemerken wir, daß die Abwechselung zwischen recht- und rückläufiger Bewegung in enger Beziehung zur Constellation der Planeten mit der Sonne stehe. Die rechtläufige Geschwindigkeit ist für die oberen Planeten zur Zeit der Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction ein Maximum; dagegen ist die rückläufige Bewegung am schnellsten zur Zeit der Opposition bei den oberen, und der unteren Conjunction bei den unteren Planeten.

Die Bildung der Schleifen in den Planetenbahnen ist also an einen bestimmten Cyclus gebunden, sie wiederholt sich, so oft der Planet mit der Sonne in Opposition oder untere Conjunction kommt. Die Zeit von einer Opposition oder unteren Conjunction bis zur nächsten, also gewissermaßen ein scheinbarer Umlauf des Planeten in Beziehung auf die Sonne, wird die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit genannt; sie hat für die einzelnen Planeten folgende Werthe:

Mercur . . .	115	Tage	21	Stunden,
Venus . . .	583	»	22	»
Mars . . .	780	»	0	»
Jupiter . . .	398	»	22	»
Saturn . . .	378	»	2	»

Ferner sehen wir, daß die Planetenbahnen theilweise nördlich, theilweise südlich von der Ekliptik liegen. Das Stück der Saturnsbahn, welches in Fig. 78 (a. f. S.) verzeichnet ist, liegt zwar ganz auf der Südseite der Sonnenbahn, allein im Laufe des Jahres 1857 ging er auf die Nordseite derselben über.

Die Punkte, in welchen eine Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, werden die Knoten genannt, und zwar ist der aufsteigende Knoten (☊) derjenige, in welchem der Planet von der Südseite der Ekliptik auf die Nordseite übertritt, während der Punkt, in welchem die bis dahin nördliche Breite des Planeten in eine südliche übergeht, mit dem Namen des niedersteigenden Knotens (☋) bezeichnet wird.

Die Zeit zwischen je zwei auf einander folgenden Durchgängen eines Pla-

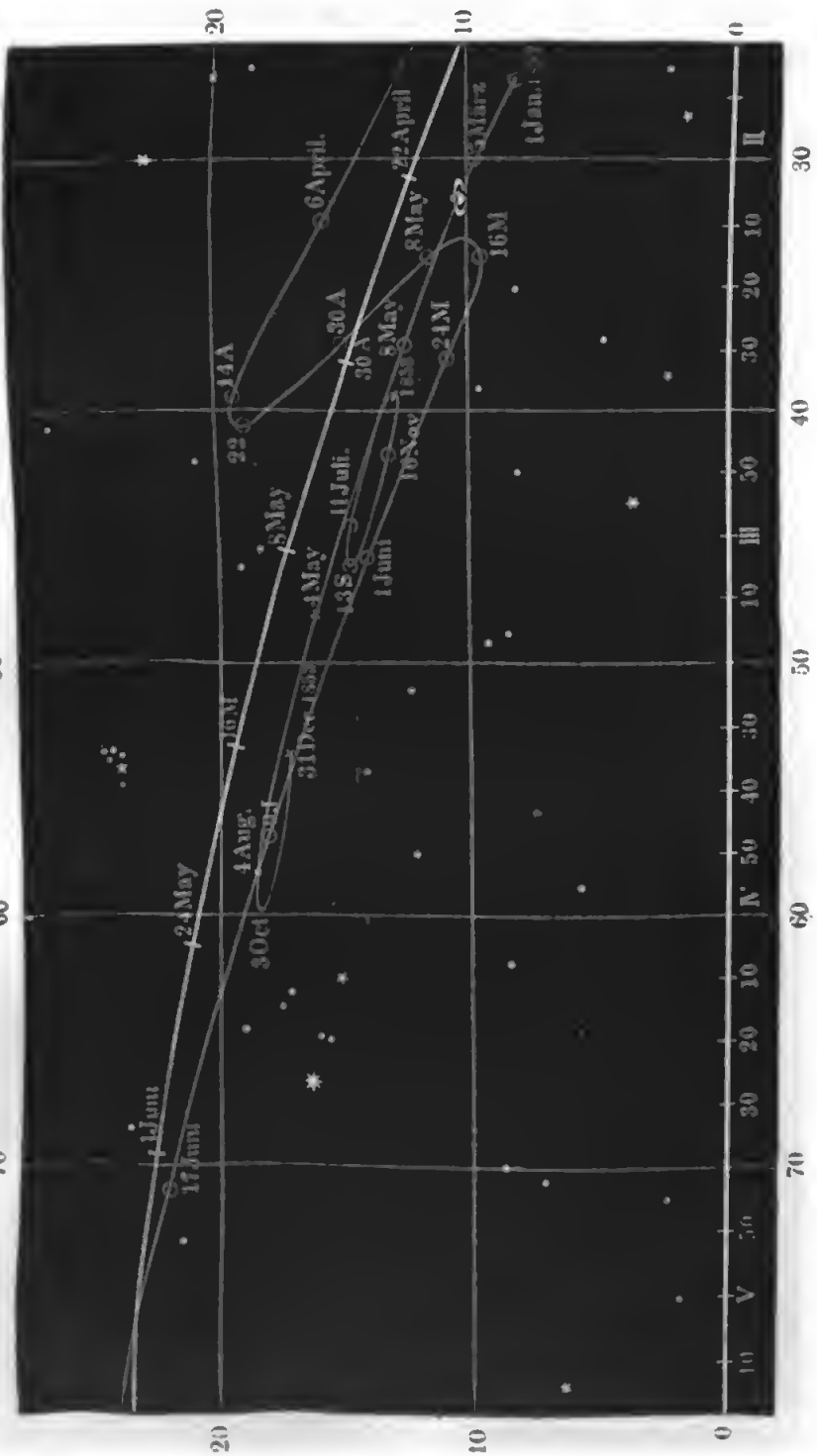


Fig. 78.

Bahn des Saturn in den Jahren 1852 und 1853 und des Mercur vom 6. April bis zum 17. Juni 1852.

neten durch den aufsteigenden Knoten wird die *sideriſche Umlaufszeit* des Planeten genannt. Die folgende Tabelle enthält (jedoch nur bis auf Stunden genau) die sideriſche Umlaufszeit für die mit bloßem Auge ſichtbaren Planeten:

Mercur	.	.	.	.	.	.	87 Tage 23 Stunden.
Venus	.	.	.	.	.	.	224 » 17 »
Mars	.	.	.	.	1 Jahr	321	» 22 »
Jupiter	.	.	.	11	»	315	» 14 »
Saturn	.	.	.	29	»	161	» 22 »

Im Laufe des Jahres 1860 wird Mercur den aufsteigenden Knoten paſſiren:

am 5. März, am 28. Auguſt,
am 1. Juni, am 24. November.

Die nächſten Durchgänge der Venus durch den aufsteigenden Knoten finden Statt:

am 3. März 1860,
am 13. October 1860,
am 26. Mai 1861 u. ſ. w.

Mars paſſirt zunächſt den niedersteigenden Knoten:

am 19. März 1860,

den aufsteigenden Knoten:

am 17. Januar 1861.

Die letzten Durchgänge des Jupiter und des Saturn durch den aufsteigenden Knoten fanden Statt am 18. October 1847 und am 1. Juni 1828, ſodann wieder am 29. Auguſt 1859 und am 8. November 1857.

Die Knoten einer Planetenbahn fallen nicht immer auf dieſelbe Stelle der Ekliptik, wohl aber liegt die Stelle, in welcher die Planetenbahn die Sonnenbahn ſchneidet, nicht ſehr weit von demjenigen Punkte, in welchem die vorige gleichgerichtete Durchſchneidung ſtattfand. Die sideriſche Umlaufszeit giebt uns alſo wenigſtens annäherungsweiſe auch die Zeit, welche der Planet braucht, um ſcheinbar das ganze Himmelsgewölbe zu umlaufen, und ſo giebt uns denn die sideriſche Umlaufszeit einen Anhaltspunkt, um zu beurtheilen, wie ſchnell ſich im Allgemeinen die einzelnen Planeten am Himmel fortbewegen. Mercur braucht, um ſeinen Umlauf durch den ganzen Thierkreis zu vollenden, ungefähr 3 Monate; er verändert alſo ſeine Stellung am Himmel ſchneller als alle anderen Planeten. Die Geſchwindigkeit der Ortsveränderung unter den Sternen nimmt in dem Maße ab, als die Umlaufszeit des Planeten größer wird. Jupiter ſchreitet im Laufe eines ganzen Jahres nur um ungefähr 30° unter den Geſtirnen weiter, Saturn nur um 12°.

Um den ſcheinbaren Lauf der Planeten gehörig zu ſtudiren, iſt nichts mehr geeignet als denſelben auf Sternkarten in der Art zu verfolgen, wie es in Fig. 77 und Fig. 78 für einzelne Fälle geſchehen iſt. Dazu iſt nun die eine der ſchon oben beſprochenen, bei Wagner in Freiburg erſchienenen Sternkarten, nämlich die Karte der Aequatorialzone des geſtirnten Himmels beſonders geeignet.

Fig. 79.

Es sind solche Karten durch den Buchhandel zu beziehen, in welchen die Bahn der Venus für die Jahre 1857, 1858 und 1859, und zwar für jedes Jahr mit anderen Farben aufgetragen ist. Auf anderen Exemplaren dieser Karten ist die Bahn des Jupiter für 1857 bis 1860, die des Saturn für 1859 bis 1861 und die Bahn der Oppositionsperiode des Mars in den Jahren 1858 und 1860 aufgezeichnet.

Das Studium dieser Beispiele wird hinreichen, um ein lebendiges und klares Bild von den Eigenthümlichkeiten des scheinbaren Laufs der Planeten zu geben.

48 **Veränderlichkeit im Glanz und der Grösse der Planeten.** Der Glanz der Planeten ist sehr veränderlich; am geringsten ist er stets zur Zeit der Conjunction, und bei den unteren Planeten zur Zeit der oberen Conjunction. Je mehr sich nun der Planet scheinbar von der Sonne entfernt, desto größer wird sein Glanz, welcher bei den oberen Planeten sein Maximum zur Zeit der Opposition erreicht.

Wenn die Venus nach der oberen Conjunction sich ostwärts von der Sonne entfernt, so nimmt ihr Glanz fortwährend zu, bis sie ihre größte Elongation passirt und sich der Sonne wieder bis auf 40° genähert hat. In dieser Stellung ist ihr Glanz ein Maximum; darauf nimmt er ab bis zur unteren Conjunction, und wächst dann wieder, bis die Venus sich um 40° auf der Westseite von der Sonne entfernt hat, wo dann der Glanz abermals ein Maximum wird.

Aehnlich sind die Variationen im Glanze des Mercur, welcher aber überhaupt schwer sichtbar ist, weil er immer sehr nahe bei der Sonne bleibt.

Diese Veränderungen des Glanzes hängen mit den Variationen der scheinbaren

Durchmeſſer der Planeten zuſammen. Der Winkel, unter welchem die verſchiedenen Planeten erſcheinen, iſt folgender:

	Zur Zeit der oberen Conjunct.	unteren Conjunct.
Mercur	4″	12″
Venus	9,3	64
	Conjunction	Oppoſition
Mars	4″	27″
Jupiter	30	49
Saturn	15	21

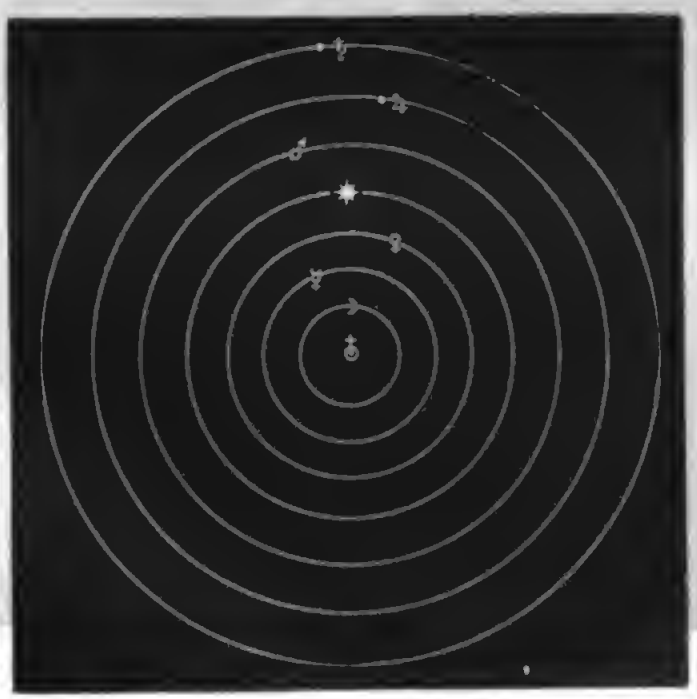
Die oberen Planeten erſcheinen, durch hinlänglich vergrößernde Fernrohre geſehen, ſtets als runde Scheiben; anders verhält es ſich mit den beiden unteren Planeten, welche Phaſen zeigen, die denen unſeres Mondes ähnlich ſind. In der Nähe der oberen Conjunction erſcheint die Venus als volle Scheibe, zur Zeit der größten Elongation iſt ſie ungefähr halb voll, und je mehr ſie ſich der unteren Conjunction nähert, deſto mehr wird ſie ſichelförmig, während zugleich ihr Durchmeſſer wächſt, wie dies Fig. 79 zeigt.

Mit bloßem Auge ſind die Phaſen der Venus nicht ſichtbar; ſie wurden von Galiläi mit dem von ihm conſtruirten Fernrohre entdeckt.

Wir werden ſpäter dieſen Punkt noch ausführlicher beſprechen.

Ptolemäiſches, Aegyptiſches und Tychoniſches Planetenſyſtem. Einer der Erſten, welche es verſuchten, die Planetenbewegungen zu 49

Fig. 80.



erklären, ſcheint Ptolemäus geweſen zu ſein, welcher in der Mitte des zweiten Jahrhunderts zu Alexandrien lebte. Er ſtellte die Erde in die Mitte des Weltalls und um ſie ſollten dann der Mond, die Sonne und die fünf damals bekannten Planeten kreiſen, und zwar ordnete er ſie nach ihren mittleren ſcheinbaren Geſchwindigkeiten ſo, daß diejenigen, welche ſchneller ihren Ort unter den Fixſternen ändern, die der Erde näheren ſein ſollten; von der Erde ausgehend, folgten ſich demnach die Planeten ſammt Mond und Sonne in folgender Ordnung: Mond, Mercur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn. Fig. 80 (a. v. S.) ſtellt die Grundidee des Ptolemäiſchen Syſtems dar.

Nach dieſem Syſtem iſt nicht einzuſehen, warum Venus und Mercur ſich ſtets in der Nähe der Sonne aufhalten, warum ſie nicht ebenfalls mit ihr in Oppoſition treten, wie die übrigen Planeten. Dieſem Widerſpruch ſuchten ſchon die älteren Aſtronomen durch eine Modification des Ptolemäiſchen Syſtemes abzuhelfen, indem ſie annahmen, daß Mond, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn in der angeführten Ordnung um die Erde laufen, daß aber Mercur und Venus ſich in Kreiſen bewegen, deren Mittelpunkt die Sonne iſt. Dieſes Planetenſyſtem wird das Aegyptiſche genannt; es iſt in Fig. 81 dargeſtellt.

Fig. 81.

Tycho de Brahe endlich ſtellt gleichfalls die Erde in den Mittelpunkt des Weltalls und läßt um ſie den Mond und die Sonne kreiſen. Die Sonne aber bildet den Mittelpunkt für die Bahnen der Planeten. Die Entfernung der unteren von der Sonne iſt kleiner, die der oberen iſt größer als der Abſtand der Sonne von der Erde, wie Fig. 82 darſtellt.

Fig. 82.

Wir haben eben die drei genannten Planetenſyſteme nur in ihrer roheſten Form betrachtet, in welcher ſie von den Ungleichförmigkeiten im Laufe der Planeten durchaus keine Rechenſchaft geben. Um dieſe Ungleichförmigkeiten zu erklären, müſſen noch Modificationen angebracht werden, die wir ſogleich näher betrachten wollen.

Die Alten unterſchieden zweierlei Ungleichheiten im Laufe der Planeten.

Die erſte Ungleichheit beſteht darin, daß die Planeten ſich keineswegs mit gleichförmiger Geſchwindigkeit fortbewegen, daß ſie bald ſchneller, bald langſamer in ihrer Bahn voranſchreiten, wie wir dies auch ſchon bei der Sonne geſehen haben.

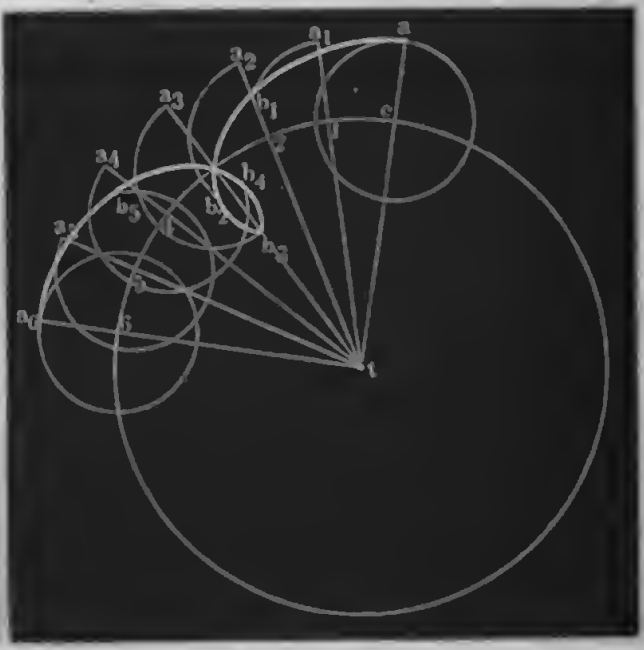
Dieſe erſte Ungleichheit ſuchte man, wie bei der Sonne, durch die Annahme des excentriſchen Kreiſes zu erklären.

Die zweite Ungleichheit kommt weder beim Monde noch bei der Sonne, ſondern nur bei den Planeten vor; ſie beſteht darin, daß ihre rechtläufige Bewegung in gewiſſen Zeiten aufhört und in eine rückläufige, retrograde, ſich verwandelt, wodurch dann die erwähnten Schleifen und Schlingen entſtehen.

Dieſe zweite Ungleichheit ſuchte man in den genannten drei älteren Planetenſyſtemen durch die Theorie der Epicyklen zu erklären, indem man annahm, daß die Planeten ſich mit gleichförmiger Geſchwindigkeit in Kreiſen bewegen, deren Mittelpunkte ſelbſt wieder einen Kreis um einen feſten oder auch ſelbſt wieder beweglichen Mittelpunkt beſchreiben.

Dieſe in der That ganz ſinnreiche Theorie erklärt der Art nach alle die ſonderbaren Unregelmäßigkeiten, welche wir bereits kennen lernten. Die Figur 83 ſoll das Weſen dieſer epicykliſchen Bewegung anſchaulich machen. Der Kör-

Fig. 83.



per a bewege ſich in einem Kreiſe, deſſen Radius ca iſt und deſſen Mittelpunkt c ſelbſt wieder einen Kreis um den Punkt t beſchreibt, und zwar möge der Körper a einen Umlauf um c vollenden, während dieſer Mittelpunkt ſelbſt von c bis 6 fortſchreitet. Es ergiebt ſich dann leicht aus dem Anblick der Figur, daß a der Reihe nach die Punkte b_1, b_2, b_3 u. ſ. w. paſſirt, daß alſo $a\ b_1\ b_2\ b_3\ b_4\ b_5\ a_6$ der Weg im Raume iſt, den der Körper a in Folge ſeiner epicykliſchen Bewegung zurücklegt.

Eine ſolche Curve $a\ b_1\ b_2\ b_3$ u. ſ. w. wird eine Epicykloide genannt.

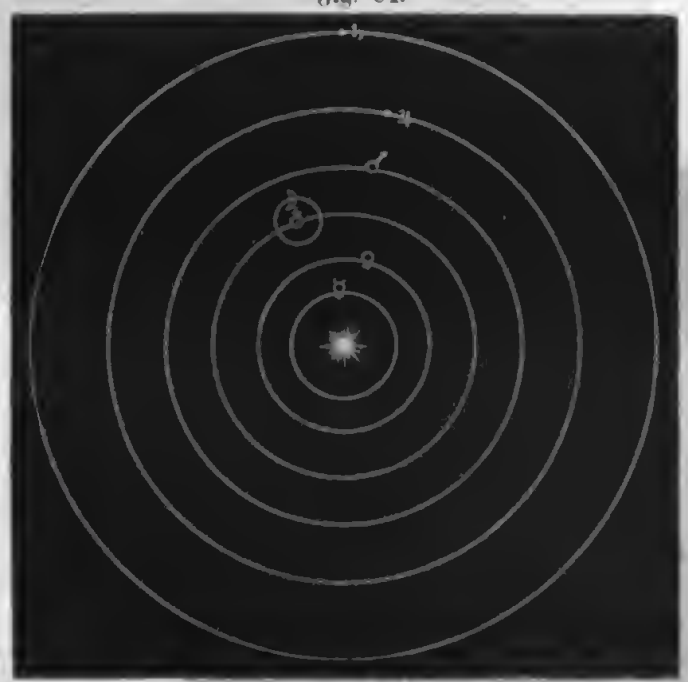
Der Kreis, in welchem ſich a in Beziehung auf den ſelbſt fortſchreitenden Mittelpunkt c bewegt, wird der Epicykel genannt; der Kreis aber, welchen der Mittelpunkt c des Epicykels beſchreibt, wird der deferirende Kreis oder der Deferent genannt.

Man sieht wohl ein, daß sich auf diese Weise der Stillstand und die rückläufige Bewegung der Planeten im Allgemeinen recht gut erklären lassen, wenn man an die Stelle der einfachen Kreise in Fig. 80, 81 oder 82 solche Epicykloiden von entsprechender Gestalt setzt. Was die Gestalt der Epicykloiden betrifft, so hängt dieselbe einerseits von dem Verhältniß der Radien *ca* und *cl* des Epicykels und des Deferenten, und dann wieder von dem Verhältniß der Geschwindigkeiten ab, mit welchen die Planeten den Epicykel und der Mittelpunkt des Epicykels, den Deferenten, durchlaufen.

Die Zeit, in welcher der Epicykel durchlaufen wird, ist die synodische Umlaufszeit, die Zeit hingegen, in welcher der Mittelpunkt des Epicykels den Umfang des deferirenden Kreises zurücklegt, ist gleich der siderischen Umlaufszeit des Planeten zu setzen.

Das Copernicanische Weltsystem. Copernicus kehrte das Pto- 50
lemäische Planetensystem geradezu um, indem er die Sonne als den Mittelpunkt des Weltalls annahm und die Erde in die Reihe der sie umkreisenden Planeten setzte. Um die Sonne zunächst kreisen, nach seiner Annahme, der Mercur und die Venus, dann folgt die Erde, welche wieder vom Monde umkreist wird, ferner Mars, Jupiter und Saturn (Fig. 84).

Fig. 84.



Das Ptolemäische Weltsystem in seiner ursprünglichen Form war durchaus einfach und symmetrisch; diese Symmetrie wurde aber durch die Einführung der excentrischen Kreise und namentlich durch die Epicykeln gestört, deren man bedurfte, um die Erscheinungen am Himmel mit der Theorie in Uebereinstimmung zu bringen. Dadurch war die Einheit und Harmonie des Weltgebäudes

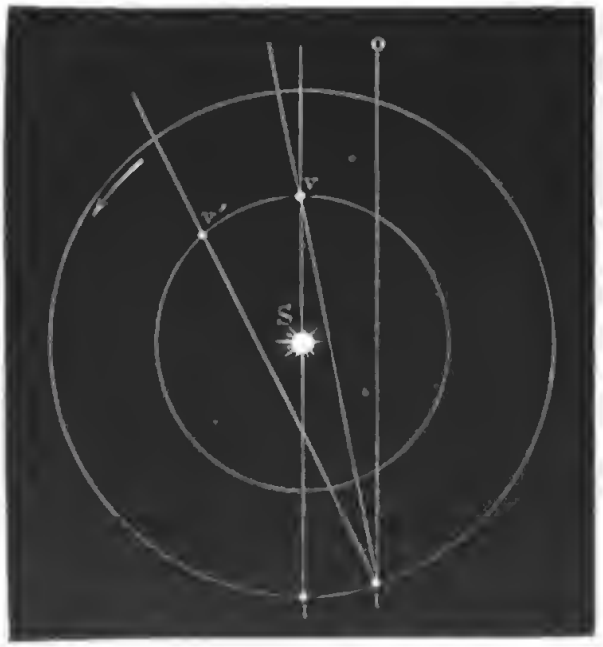
verloren gegangen. Die Epicykelntheorie erſchien dem Copernicus wie eine Verunſtaltung der anſchaulichen und äſthetiſchen Form des Weltalls.

Indem Copernicus die Sonne in die Mitte des Planetenſyſtemes ſetzte, gelang es ihm, die zweite Ungleichheit der Planetenbewegung, die zeitweiſe retrograde Bewegung und die daraus ſich ergebende Bildung von Schleifen in den Planetenbahnen ohne Epicykeln zu erklären, indem er dieſe Erſcheinungen lediglich auf die Bewegung der Erde zurückführte, und ſo den Erſcheinungen Genüge leiſtete, ohne die Einfachheit des Weltſyſtemes aufzuopfern.

Er ſelbſt ſagt in dieſer Beziehung: »Durch keine andere Anordnung habe »ich eine ſo bewundernswürdige Symmetrie des Univerſums, eine ſo harmo»niſche Verbindung der Bahnen finden können, als da ich die Weltleuchte, die »Sonne, die ganze Familie kreiſender Geſtirne lenkend, in die Mitte des ſchö»nen Naturtempels wie auf einen königlichen Thron geſetzt.«

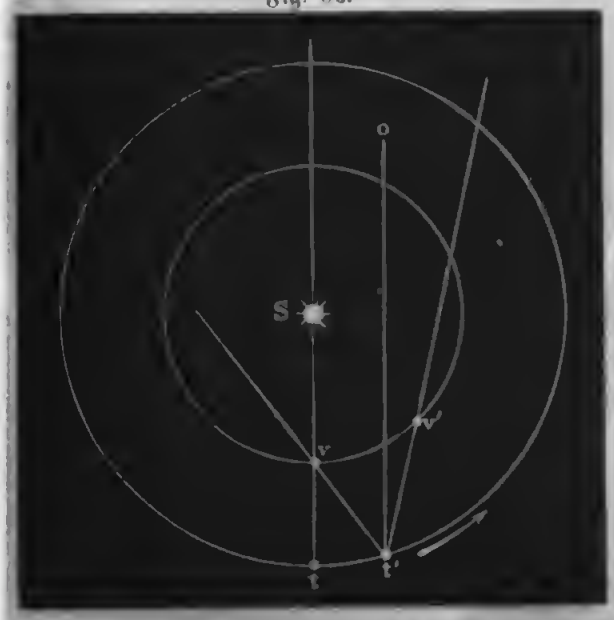
51 **Erklärung der Rückläufigkeit nach dem Copernicaniſchen Syſtem.** Es wurde bereits oben S. 119 angeführt, daß die ſcheinbare Bewegung der Planeten die größte rechtläufige Geſchwindigkeit hat, wenn der Planet gerade durch die Sonne verdeckt wird, alſo für die oberen Planeten zur Zeit der unteren Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction. Dies ergiebt ſich nun als nothwendige Folge aus dem Copernicaniſchen Syſtem. In Fig. 85 ſei S die Sonne, t und v die gleichzeitigen Stellungen der Erde und der Venus zur Zeit der erwähnten Conjunction. Wenn nun der Planet ſtehen bliebe und die Erde ſich von t nach t' bewegte, ſo würde ſich der Planet ſcheinbar um den Winkel $o\,t'\,v$ nach Oſten bewegt haben ($t'o$ parallel mit tv). Nun aber bewegt ſich der Planet ſelbſt noch von v nach v' und dadurch wird die von der Erde nach den Planeten gerichtete Viſirlinie noch um den ganzen Winkel $v\,t'\,v'$ mehr nach Oſten gedreht erſcheinen; es ſummirt ſich alſo hier die wahre Bewegung des Planeten zu der ſcheinbaren, welche durch das Fortrücken der Erde in ihrer Bahn bewirkt wird.

Fig. 85.



Befindet ſich aber einer der unteren Planeten gerade zwiſchen der Erde und der Sonne, wie Fig. 86 zeigt, ſo würde ſich der Planet ſcheinbar um den Winkel $o\,t'\,v$ nach Oſten bewegen, wenn nur die Erde von t nach t' fortſchritte und der Planet in v ſtehen bliebe. Dadurch aber, daß der Planet von v nach v' ſich bewegt, wird die von der Erde nach dem Planeten gerichtete Viſirlinie wieder um den Winkel $v\,t'\,v'$ nach Weſten gedreht. Da nun die Planeten, welche der Sonne näher liegen, ſchneller in ihrer Bahn fortſchreiten als die entfernteren, ſo iſt $v\,v'$ größer als $t\,t'$, alſo der Winkel $v\,t'\,v'$ größer als $o\,t'\,v$, folglich wird ſich der Planet am Himmel ſcheinbar nach Weſten fortbewegen, während die Erde von t nach t' und der Planet von v nach v' fortſchreiten; zur Zeit der unteren Conjunction iſt alſo die Bewegung der Venus und des Mercur eine rückläufige.

Fig. 86.



Auf ähnliche Weiſe läßt ſich zeigen, daß für die oberen Planeten die ſcheinbare Bewegung zur Zeit der Oppoſition rückläufig iſt.

Conſtruction der ſcheinbaren Planetenbahnen nach dem Copernicaniſchen Syſtem. Unſere nächſte Aufgabe beſteht nun darin, zu zeigen, daß der ſcheinbare Lauf der Planeten am Himmelsgewölbe ſich vollſtändig aus dem Copernicaniſchen Syſtem nicht allein im Allgemeinen erklären, ſondern auch in ſpeciellen Fällen übereinſtimmend mit der Erfahrung ableiten läßt. 52

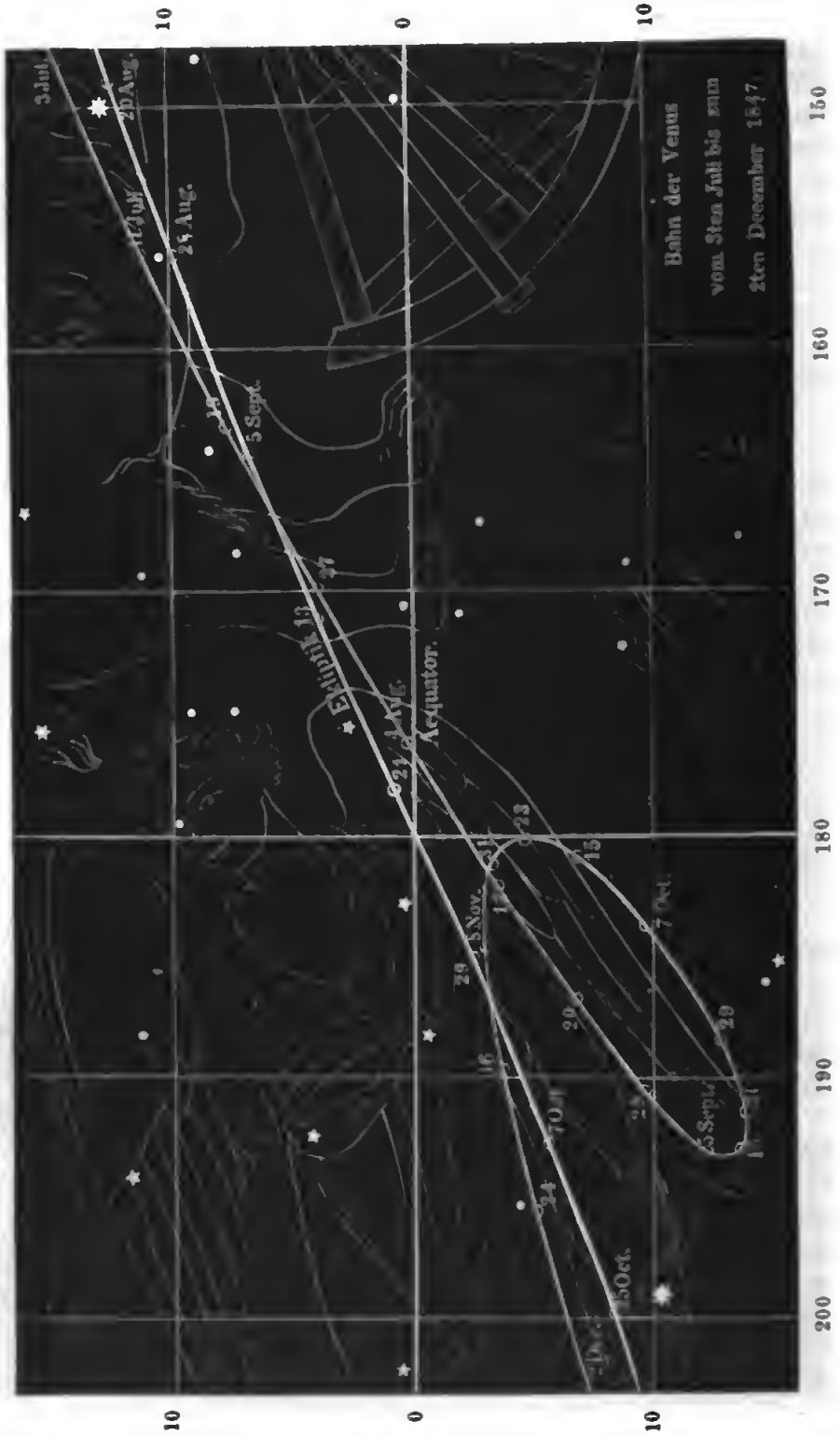
Betrachten wir zunächſt den Lauf der Venus vom 3. Juli 1847 bis zum 2. December deſſelben Jahres, welcher in Fig. 87 dargeſtellt iſt.

Die Venus ändert im Laufe dieſer Zeit ihre Stellung nicht allein in Beziehung auf ihre Länge, ſondern auch in Beziehung auf ihre Breite, d. h. ſie bewegt ſich nicht allein in der Ebene der Ekliptik bald recht-, bald rückläufig, ſondern ſie ändert auch ihre nördliche oder ſüdliche Entfernung von der Ekliptik. Unſere Aufgabe zerfällt alſo in zwei Theile; es iſt nämlich nachzuweiſen, wie

1) die Veränderungen in der Länge, und
2) wie die Veränderungen in der Breite zu erklären ſind.

Gehen wir zum erſten Theil der Aufgabe über.

Fig. 87.


Bahn der Venus
vom 3ten Juli bis zum
2ten December 1847
Ekliptik
Aequator.
3 Jul.
20 Aug.
24 Aug.
5 Sept.
5 Nov.
7 Oct.
5 Sept.
5 Oct.
10
0
10
150
160
170
180
190
200

Tab. VII. ſtellt nach dem Copernicaniſchen Syſtem die Bahnen der Venus und der Erde und zwar in dem richtigen Verhältniß ihrer Halbmeſſer dar. V, V_1, V_2, V_3, V_4 und V_5 ſind die Orte, an welchen ſich die Venus nach dem genannten Syſteme wirklich am 3. Juli, am 4. Auguſt, am 5. September, am 7. October, am 8. November und am 2. December befand. An denſelben Tagen aber befand ſich die Erde in den Punkten T, T_1, T_2, T_3, T_4 und T_5. Am 3. Juli ſah man alſo die Venus in der Richtung TV, am 4. Auguſt ſah man ſie in der Richtung $T_1 V_1$ u. ſ. w.

Es iſt nun zu unterſuchen, wo dieſe Viſirlinien auf den Thierkreis treffen. Der Durchmeſſer der Erdbahn iſt verſchwindend klein im Vergleich zu der Entfernung der Fixſterne; ſollte alſo in unſerer Figur die Verlängerung der Linie TV die richtige Stelle des Thierkreiſes treffen, ſo müßte dieſer mit einem ſo enormen Halbmeſſer gezogen werden, daß kein Papier ihn aufnehmen könnte; zieht man aber den Thierkreis mit einem kleineren Halbmeſſer, ſo braucht man nur parallel mit TV eine Linie durch den Mittelpunkt der Figur zu ziehen, um zu finden, auf welcher Stelle des Thierkreiſes zu jener Zeit die Venus projicirt erſchien. Dieſe durch den Mittelpunkt der Figur gezogene Richtungslinie trifft auf einen Punkt des Thierkreiſes, welcher ungefähr 32° weſtlich vom Herbſtpunkte (♎ in Fig. 76, der Punkt, in welchem ſich Ekliptik und Aequator ſchneiden) liegt. Am 3. Juli 1847 war alſo die Länge der Venus $180° - 32 = 148°$.

Auf gleiche Weiſe ergiebt ſich die Länge der Venus:

am 4. Auguſt . . .	177°
» 5. September . .	196°
» 7. October . . .	187°
» 8. November . . .	185°
» 2. December . . .	203°.

Es ergiebt ſich alſo aus dieſer Conſtruction in der That, wie die Venus vom 3. Juli bis zum 5. September rechtläufig war, wie ſie dann bald rückläufig wurde, um nach einiger Zeit wieder in die rechtläufige Bewegung überzugehen.

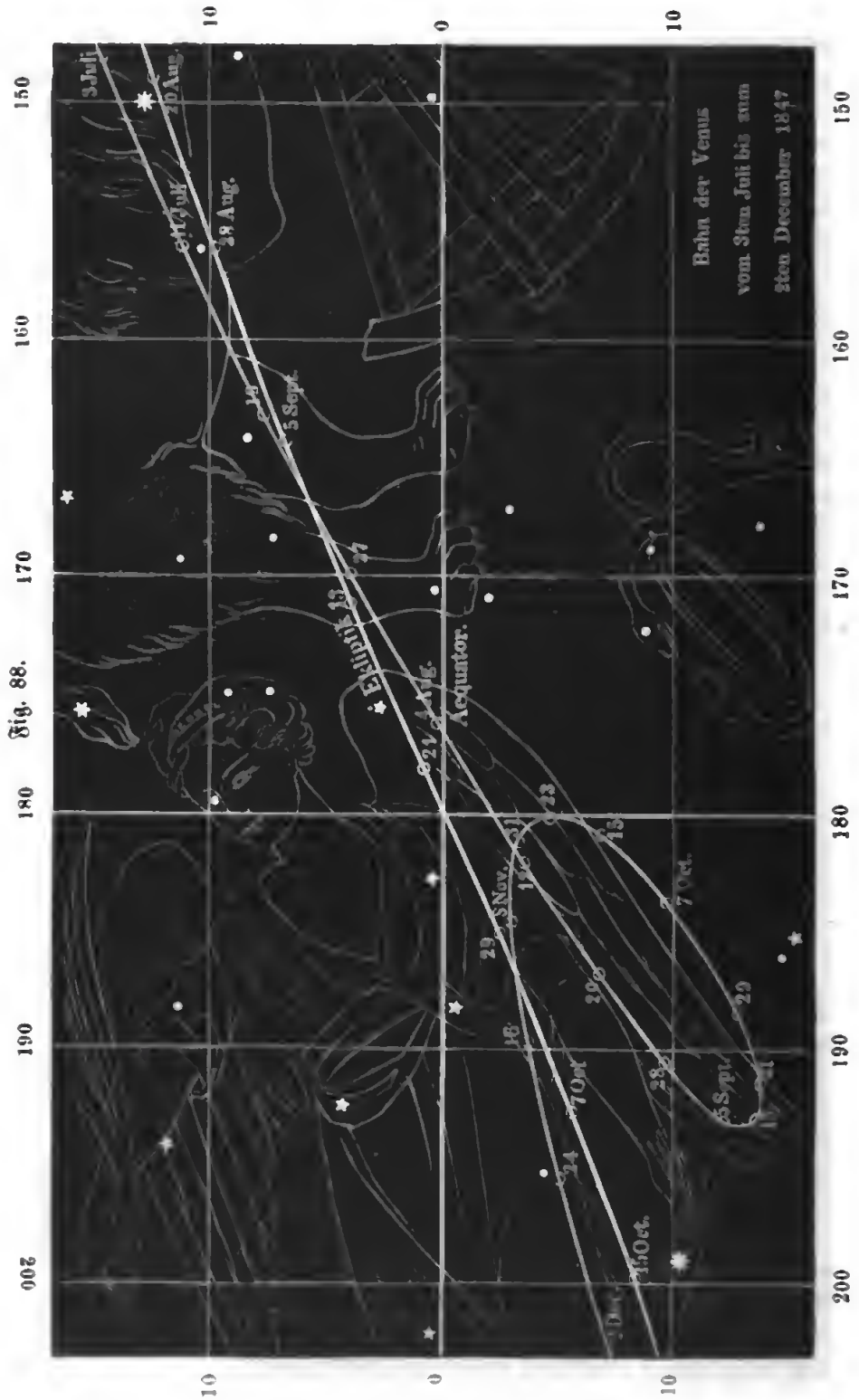
Hätte man dieſelbe Conſtruction für jeden Tag des angegebenen Zeitraums gemacht, ſo hätte man gefunden, daß die Dauer der retrograden Bewegung ſich ungefähr vom 10. September bis zum 23. October erſtreckt.

Da die ſcheinbaren Planetenbahnen nicht genau in die Ekliptik fallen, ſondern zum Theil auf der Nordſeite, zum Theil auf der Südſeite derſelben liegen, ſo müſſen die Ebenen der wahren Planetenbahnen einen Winkel mit der Ebene der Erdbahn machen. Die Neigung der Venusbahn gegen die Erdbahn beträgt 3°.

Ein Theil der wahren Venusbahn liegt alſo nördlich, der übrige Theil derſelben liegt ſüdlich von der Ebene der Erdbahn. Die Ebene der Tab. VII. ſtellt die Ebene der Erdbahn dar. Die nördliche Hälfte der Venusbahn, welche oberhalb dieſer Ebene liegt, iſt ausgezogen, während die ſüdlich von der Ebene der Ekliptik liegende Hälfte der Venusbahn punktirt iſt.

Der Winkel, welchen die Ebene der Venusbahn mit der Ebene der Erd-

Fig. 88.


Bahn der Venus
vom 3ten Juli bis zum
2ten December 1847
Ekliptik
Aequator.
3 Juli
20 Aug.
28 Aug.
5 Sept.
7 Oct.
5 Nov.
15 Oct.
1 Dec.
10
0
10
150
160
170
180
190
200

bahn macht, beträgt, wie ſchon erwähnt worden iſt, 3°. Die beiden Ebenen ſchneiden ſich in einer Linie *A B*, Tab. VII., welche den Namen der Knotenlinie führt. Die Venus paſſirt während eines ganzen Umlaufs um die Sonne zweimal die Ebene der Erdbahn, einmal in dem Punkte *a*, welcher der niederſteigende Knoten genannt und durch ☋ bezeichnet wird, um von der Nordſeite der Ekliptik auf die Südſeite derſelben überzugehen, dann aber wieder im Punkte *b*, dem aufſteigenden Knoten (☊), welchen ſie paſſirt, wenn die ſüdliche Breite der Venus in eine nördliche übergeht.

Fig. 89.

Am 3. Juli 1847 befand ſich der Tab. VII. zufolge die Venus noch nördlich von der Ekliptik, übereinſtimmend mit dem ſcheinbaren Lauf, Fig. 88; ſie näherte ſich aber dem niederſteigenden Knoten, welchen ſie ungefähr am 23. Juli paſſirte. Von nun an blieb die Breite der Venus eine ſüdliche, bis ſie am 11. November wieder den aufſteigenden Knoten paſſirte; der ganze ſcheinbare Weg, welchen die Venus vom 23. Juli bis zum 11. November durchläuft, muß alſo auf die Südſeite der Ekliptik fallen, wie auch Fig. 88 zeigt.

Suchen wir nun aber durch Conſtruction die Breite der Venus für eine gegebene Zeit zu ermitteln.

Eine rechtwinklig auf der Knotenlinie *A B*, Tab. VII., ſtehende Ebene ſchneidet die Ebene der Venusbahn in einer Linie *C D*. In Fig. 89 ſei die Ebene des Papiers die auf der Knotenlinie *A B* rechtwinklig ſtehende Ebene; *C D* der Durchſchnitt derſelben mit der Ebene der Venusbahn, *M N* ihr Durchſchnitt mit der Ebene der Erdbahn, ſo ſchneiden ſich dieſe beiden Linien unter einem Winkel von 3°. Soll nun für einen beſtimmten Tag, etwa für den 5. September 1847, die Breite der Venus beſtimmt werden, ſo fällt man von ihrem wahren Ort V_2, Tab. VII., einen Perpendikel $V_2 v_2$ auf *C D* und überträgt alsdann die Länge $S v_2$ auf die Linie *C D* in Fig. 89, ſo giebt die Entfernung des Punktes v_2 von der Linie *M N* die wahre Entfernung der Venus von der Ebene der Ekliptik für jene Zeit an. Um aber zu erfahren, wie viel Grade uns, von der Erde aus geſehen, die Venus von der Ekliptik entfernt erſcheint, hat man auf *M N* einen Punkt t_2 zu beſtimmen, welcher von v_2 ſo weit abſteht wie T_2 auf Tab. VII. von V_2. Zieht man endlich die Linie $t_2 v_2$, ſo iſt der Winkel, welchen dieſe Linie mit der Linie *M N* macht, gleich dem Winkel, um welchen die Venus zur angegebenen Zeit ſüdlich von der Ekliptik erſcheint; dieſer Winkel iſt unſerer Conſtruction zufolge ungefähr 6°.

Für den 5. September 1847 ergiebt ſich alſo aus dieſer Conſtruction die Länge der Venus 196° (16° öſtlich vom Herbſtpunkte ♎), die ſüdliche Breite aber gleich 6°.

Durch eine ähnliche Conſtruction ergiebt ſich für den 3. Juli die nördliche Breite der Venus gleich $1^1/_2$ Grad, während gleichzeitig ihre Länge 148° (32° weſtlich vom Herbſtpunkte) iſt.

Beſtimmt man auf ähnliche Weiſe durch Conſtruction die ſcheinbaren Oerter der Venus von 8 zu 8 Tagen vom 3. Juli bis zum 2. December 1847, ſo ergiebt ſich in der That der ſcheinbare Lauf der Venus im angegebenen Zeitraum ſo, wie er Fig. 88 verzeichnet iſt.

Wir haben für einen ſpeciellen Fall nach dem Copernicaniſchen Syſtem ein Stück der ſcheinbaren Bahn eines Planeten durch Conſtruction abgeleitet. Soll eine ſolche Conſtruction genaue Reſultate liefern, ſo muß die Zeichnung in größerem Maßſtabe mit äußerſter Sorgfalt ausgeführt werden, wie dies in dem ſehr empfehlenswerthen Werkchen: »Der Planetenlauf, eine graphiſche Darſtellung der Bahnen der Planeten u. ſ. w. von Dr. Nell, Braunſchweig 1858,« geſchehen iſt.

Die beiden erſten Tafeln dieſes Werkchens ſind als Tab. VIII a und Tab. IX a in den Atlas unſerer kosmiſchen Phyſik übergegangen.

Tab. VIII a enthält die Bahnen der Erde und der beiden unteren Planeten, eingetheilt nach täglicher Bewegung; man kann alſo auf dieſer Tafel erſehen:

1. an welcher Stelle ihrer Bahn die Erde an jedem Tage des Jahres Mittags um 12 Uhr ſteht;

2. an welchen Stellen ihrer Bahn die Venus an den einzelnen Tagen der Jahre 1856 bis 1879 ſteht. Der Zwiſchenraum zwiſchen je zwei Theilſtrichen der Venusbahn iſt der Weg, welchen dieſer Planet an einem Tage zurücklegt.

Bei dem erſten der längeren Theilſtriche z. B., welcher auf der linken Seite der Venusbahn unter der durch die Sonne gezogenen Horizontallinie liegt, ſtehen die Zahlen 61, 69, 77 und dann 1. Auguſt; d. h. an dieſer Stelle ſteht die Venus am 1. Auguſt 1861, am 1. Auguſt 1869 und am 1. Auguſt 1877; bei dem nach unten folgenden Theilſtriche ſteht ſie alſo am 2. Auguſt der genannten Jahre und dem nächſten längeren Theilſtriche ſteht ſie in den genannten Jahren am 4. Auguſt. Bei dieſem letzten Theilſtriche ſteht ſie aber auch am 1. September und am 20. Januar 1856, 1864 und 1872;

3. an welcher Stelle ſeiner Bahn der Mercur an jedem Tage der Jahre 1856 bis 1865 ſteht. Nach den für die Venusbahn gegebenen Erläuterungen iſt wohl die Eintheilung der Mercursbahn mit den beigeſchriebenen Jahreszahlen u. ſ. w. ohne Weiteres verſtändlich.

Auf Tab. IX a ſind auf der Erdbahn die Stellen angegeben, in welchen ſich die Erde am 1., 11. und 21. eines jeden Monats befindet; für dieſelben Monatstage findet man auf Tab. IX a die Stellung des Mars von 1856 bis 1870 angegeben.

Die Eintheilung der Marsbahn bedarf noch einiger Erläuterung. Die längeren Theilſtriche, bei welchen eine Jahreszahl ſteht, bezeichnen die Stelle, an welcher ſich Mars am 1. Januar der genannten Jahre befindet; der Raum zwiſchen je zwei aufeinander folgenden längeren Theilſtrichen aber iſt der Weg, welchen der Mars im Laufe eines Monats zurücklegt, wonach die Ortsbeſtimmung des Mars während der genannten Periode wohl keine Schwierigkeit haben wird.

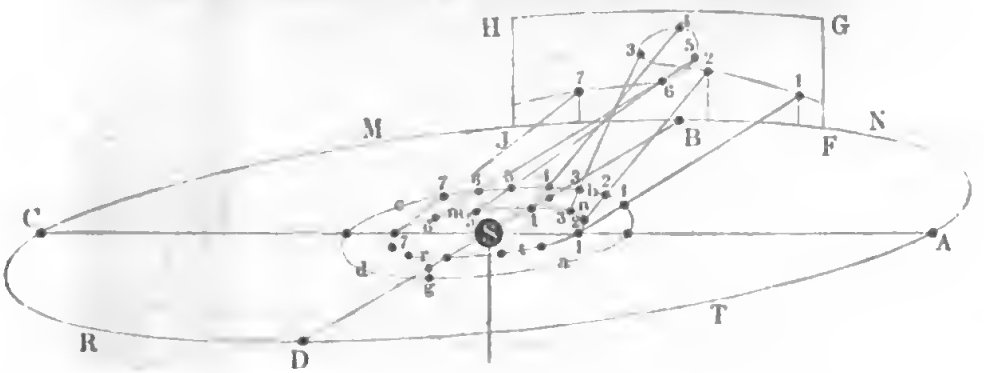
Die an den Bahnen des Jupiter, Saturn und Uranus angebrachten Theilſtriche bezeichnen die Stelle, an welcher ſich die genannten Planeten am 1. jedes Monats in den beigeſchriebenen Jahren befinden.

Nach den oben mitgetheilten Principien unterliegt es nun keiner Schwierigkeit, aus dem auf Tab. VIII a und Tab. IX a dargeſtellten wahren Lauf der Planeten den ſcheinbaren Lauf abzuleiten. Eine eingehende Beſprechung dieſes Gegenſtandes findet der Leſer in dem bereits erwähnten Werkchen des Dr. Nell.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß man den ſcheinbaren Lauf der Planeten, von denſelben Principien ausgehend, auch durch Rechnung ermitteln kann, und zwar werden die Reſultate der Rechnung ungleich genauer ſein, als die durch Zeichnung erhaltenen.

Modell zur Erklärung des Planetenlaufs. Um beim Unterrichte 53
recht anſchaulich zu machen, wie die ſcheinbare Bahn der Planeten das Reſultat einer gleichzeitigen Bewegung des Planeten und der Erde im Sinne des Copernicaniſchen Syſtemes iſt, bediene ich mich mit Erfolg eines aus ſtarkem Draht und Bleikugeln verfertigten Modelles, welches Fig. 90 in $^1/_{10}$ der natürlichen

Fig. 90.



Größe ſchematiſch darſtellt. Auf einem Eiſenſtab iſt eine Metallkugel S befeſtigt, welche die Sonne repräſentirt. In S ſtecken rechtwinklig zu einander vier horizontale Eiſenſtäbchen SA, SB, SC und SD, welche außen durch einen Meſſingring $NMRT$ verbunden ſind, welcher den Durchſchnitt der Ebene der Erdbahn mit dem Himmelsgewölbe, alſo die Ekliptik darſtellt. Concentriſch mit dieſem äußern

Ring iſt ein kleinerer in derſelben Ebene befindlicher Ring $nmrt$ von Meſſingdraht gelegt, welcher die Erdbahn darſtellt. Auf dieſer Erdbahn ſind in gleichen Zwiſchenräumen 12 Bleikugeln angebracht, welche die Stellen bezeichnen, an welchen ſich die Erde in 12 verſchiedenen ſtets um 30 Tage aus einander liegenden Zeitpunkten befindet. — Die 7 erſten dieſer Stellungen ſind mit den Zahlen 1, 2, 3 u. ſ. w. bis 7 bezeichnet.

Um S iſt aber noch ein dritter Meſſingring $abcdg$ gelegt, welcher die Bahn eines obern Planeten, etwa des Mars, repräſentirt. Die Ebene dieſer Bahn fällt nicht mit der Ebene der Erdbahn zuſammen, denn der Punkt g derſelben liegt unter SD, während der mit 4 bezeichnete Punkt dieſer Bahn eben ſo hoch über SB liegt. Auf dieſen Ring ſind nun gleichfalls 7 Bleikugeln befeſtigt, welche in unſerer Figur auch mit 1, 2, 3 u. ſ. w. bezeichnet ſind, und welche die Orte angeben, in welchen ſich der Planet in denſelben Zeitpunkten befindet, in denen die Erde die mit gleichen Ziffern bezeichneten Orte der Erdbahn einnimmt.

Der Ueberſicht wegen iſt es zweckmäßig, in dem ausgeführten Modell die entſprechenden Kugeln mit gleichen Farben anzuſtreichen, alſo etwa weiß die beiden mit 1 bezeichneten Kugeln, roth die beiden mit 2 bezeichneten u. ſ. w.; die folgenden Kugelpaare grün, gelb, blau, violett und ſchwarz.

Die Abſtände zweier auf einander folgenden Kugeln, alſo 1 bis 2, 2 bis 3 u. ſ. w. müſſen natürlich auf der Bahn $abcd$ kleiner ſein als auf der Erdbahn, weil ja jeder fernere Planet langſamer in ſeiner Bahn ſich fortbewegt als die der Sonne näheren. In unſerem Modell verhalten ſich die Abſtände zweier auf einander folgenden Kugeln auf die beiden Ringe $abcd$ und $nmrt$ wie 17 zu 23.

Denken wir uns nun von einem beſtimmten Ort der Erde über den gleichzeitigen Ort des Mars, alſo z. B. von 1 der Erdbahn über 1 der Marsbahn eine gerade Linie gezogen, ſo wird dieſe das Himmelsgewölbe in einem beſtimmten Punkte treffen, der in unſerem Modell mit derſelben Ziffer bezeichnet iſt, wie die entſprechenden Oerter der Erde und des Mars. In unſerem Modell iſt, um dieſe Projectionen des Mars auf das Himmelsgewölbe aufzeichnen zu können, ein Blechſtück $FGHJ$ an dem äußeren Ringe befeſtigt, auf dieſes ſind die Projectionen des Mars aufgetragen, und zwar mit gleicher Farbe bezeichnet wie die entſprechenden Poſitionen der Erde und des Mars, und endlich die drei zuſammengehörigen Orte, alſo z. B. 2 auf der Erdbahn, 2 auf der Marsbahn und 2 auf dem Himmelsgewölbe durch ein gerade geſtrecktes Drahtſtück verbunden, welches die von der Erde über den Mars nach dem Himmelsgewölbe gerichtete Viſirlinie repräſentirt.

Werden die Marsprojectionen 1, 2, 3 ... 7 auf $FGHJ$ durch eine Curve verbunden, wie es in unſerer Figur geſchehen iſt, ſo ſtellt dieſe nun einen Theil der ſcheinbaren Marsbahn dar. Um die nöthige Anſchaulichkeit zu erreichen, muß man von den wahren Größenverhältniſſen abweichen und namentlich die Neigung der Marsbahn bedeutend vergrößern, wie es auch in dem Fig. 90 dargeſtellten Modell geſchehen iſt.

Elemente der Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System. Soll die Bahn eines Planeten und seine Bewegung in derselben vollständig bestimmt sein, so muß man folgende Elemente kennen: 54

1) den Halbmesser der Bahn (den mittleren Abstand von der Sonne);
2) die siderische oder wahre Umlaufszeit;
3) die Neigung der Bahn
4) die Länge des aufsteigenden Knotens;
5) die Epoche.

Diese fünf Elemente sind für die sechs älteren Planeten folgende:

	Mittlerer Abstand von der Sonne.	Siderische Umlaufszeit.	Neigung der Bahn.	Länge des aufsteigenden Knotens.	Epoche.
Mercur . . .	0,3871	87ᵗ 23ʰ 16′	7° 0,2′	46° 24′	241° 54,6′
Venus . . .	0,7233	224 16 49	3 23,5	75 12	289 40,5
Erde	1,0000	365 6 9	0 0		100 32,5
Mars . . .	1,5237	686 23 30	1 51,1	48 17	317 19,6
Jupiter . .	5,2028	4332 14 2	1 18,7	98 49	307 7,8
Saturn . .	9,5388	10759 5 16	2 29,5	112 17	73 23,4

Zur Erläuterung dieser Tabelle sind noch einige Bemerkungen beizufügen.

Im Ptolemäischen System kommt es nur auf das Verhältniß des Deferenten zum Epicykel an, das Verhältniß aber, in welchem die Radien der deferirenden Kreise für die verschiedenen Planeten stehen, ist dagegen ganz gleichgültig; das Ptolemäische System bietet deshalb auch keinen Anhaltspunkt zur Bestimmung der absoluten oder relativen Entfernung der Planeten vom Centralkörper des Systemes.

Anders verhält es sich beim Copernicanischen System; hier hängt die Gestaltung der scheinbaren Planetenbahn wesentlich ab von dem Größenverhältniß, in welchem der Abstand der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn steht; die Abstände der Planeten von der Sonne gehören im Copernicanischen System zu den wesentlichen Elementen der Bahn.

Eine annähernd genaue Bestimmung dieser Abstände ergiebt sich für die unteren Planeten schon aus einer einzigen, für die oberen Planeten aus der Combination zweier passender Beobachtungen.

In Fig. 91 sei S die Sonne, der ganze ausgezogene Kreis die Bahn der Venus, der punktirte Bogen ein Stück der Erdbahn. Für die Zeit nun, in welcher uns der Winkelabstand der Venus von der Sonne ein Maximum wird, ist eine von der Erde zur Venus gezogene Linie tv eine Tangente der Venusbahn, es steht also tv rechtwinklig auf vS und es ist also $Sv = tS . \sin. 46°$, da der

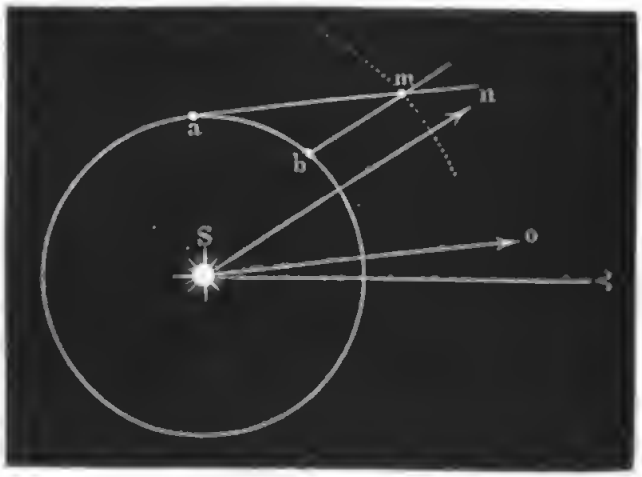
Winkel Svn, das Maximum der Elongation zwiſchen Venus und Sonne, im Mittel 46° beträgt. Wenn wir alſo den Abſtand St der Erde von der Sonne mit 1 bezeichnen, ſo iſt alſo der Abſtand vS der Venus von der Erde gleich 0,72.

Fig. 91.

In derſelben Weiſe läßt ſich auch die Entfernung des Mercur von der Sonne beſtimmen.

Eine annähernd genaue Beſtimmung des Abſtandes der oberen Planeten von der Sonne ergiebt ſich aus der Beobachtung zweier auf einander folgender Durchgänge derſelben durch den aufſteigenden Knoten. So ging z. B. Mars durch den aufſteigenden Knoten am 1. Januar 1846 und dann wieder am 19. November 1847. Die entſprechenden Durchſchnittspunkte der ſcheinbaren Marsbahn mit der Ekliptik lagen aber 7° und 33° öſtlich vom Frühlingspunkte; demnach ſind So und Sn, Fig. 92, die Richtungen, nach welchen am 1. Januar

Fig. 92.



1846 und am 19. November 1847 Mars von der Erde aus geſehen ward. Wenn nun aber der innere ausgezogene Kreis die Erdbahn darſtellt, ſo ſind a und b die Stellen, welche die Erde in den genannten Tagen einnahm. Zieht man nun durch a eine Linie parallel mit So, durch b eine zweite parallel mit Sn, ſo werden ſich dieſe Linien in m ſchneiden. Dieſer Punkt m aber iſt offenbar derjenige Punkt der Marsbahn, in welchem ſich der fragliche Planet an den genannten Tagen befindet, und Sm iſt die Entfernung des Mars von der Sonne, wenn Sa der Abſtand zwiſchen Erde und Sonne iſt.

Daß eine ſolche Beſtimmungsweiſe nicht ganz genau iſt, ſondern nur eine erſte Annäherung liefern kann, verſteht ſich von ſelbſt, und zwar um ſo

mehr, als der Abstand der Planeten von der Sonne, wie wir bald sehen werden, selbst innerhalb gewisser Gränzen veränderlich ist, was daher rührt, daß die Sonne nicht genau im Mittelpunkte der Planetenbahnen liegt. Die obige Tabelle giebt den mittleren Abstand der Planeten von der Sonne.

Was unter der Neigung der Bahn zu verstehen ist, wird nach dem vorigen Paragraphen klar sein.

Wenn man von der Sonne aus durch den aufsteigenden Knoten einer Planetenbahn eine gerade Linie gezogen denkt, wie *A B* Tab. VII., welche von dem Mittelpunkte der Sonne über den aufsteigenden Knoten der Venusbahn gezogen ist, so trifft diese Linie die Ekliptik in einem bestimmten Punkte *B*. Der Bogen vom Frühlingspunkte bis zu diesem Punkte ist die (heliocentrische) Länge des aufsteigenden Knotens. So sehen wir aus Tab. VII., daß die Länge des aufsteigenden Knotens der Venus 75° ist.

Die Epoche, welche wir in der letzten Columne der obigen Tabelle finden, giebt uns die heliocentrische Länge der Planeten für irgend einen bestimmten Zeitpunkt; in obiger Tabelle ist unter der Ueberschrift »Epoche« in der letzten Verticalreihe die heliocentrische Länge der Planeten für den 1. Januar 1855 angegeben.

Auf Tab. VIII. sind die Bahnen der unteren Planeten, der Erde und des Mars, auf Tab. IX. die der Erde und der oberen Planeten dargestellt, und zwar ist auf jeder Bahn die Stelle bezeichnet, welche der Planet am 1. Januar 1855 einnahm. Ebenso findet man auf Tab. VIII. und auf Tab. IX. die Lage des aufsteigenden Knotens für jeden Planeten bezeichnet. Derjenige Theil der Planetenbahnen, welcher südlich von der Ekliptik liegt, also der Weg vom niedersteigenden Knoten bis zum aufsteigenden ist punktirt.

Um die erste Ungleichheit der Planetenbewegung zu erklären, mußte auch Copernicus die Theorie des excentrischen Kreises in sein System aufnehmen, d. h. er mußte annehmen, daß, wie wir bereits S. 102 in Betreff der Erde gesehen haben, die Sonne mehr oder weniger außerhalb des Mittelpunktes der Planetenbahnen liege.

Nach dem Copernicanischen System ist die siderische Umlaufszeit nichts Anderes als die wahre Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, d. h. die Zeit, welche er braucht, um einen Winkel von 360° um die Sonne herum zurückzulegen. Von dieser siderischen Umlaufszeit ist die tropische und die synodische Umlaufszeit zu unterscheiden.

Die tropische Umlaufszeit ist die Zeit, welche zwischen zwei von der Sonne aus gesehenen Durchgängen des Planeten durch den Frühlingspunkt liegt. Wäre der Frühlingspunkt unveränderlich, so wäre die tropische Umlaufszeit der siderischen gleich; wegen des Rückganges des Frühlingspunktes aber ist die tropische Umlaufszeit etwas kürzer.

Die synodische Umlaufszeit ist, wie wir schon oben gesehen haben, die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Conjunctionen des Planeten mit der Sonne vergeht, oder auch die Zeit von einer Opposition zur nächsten.

Die folgende Tabelle enthält eine Zuſammenſtellung der ſideriſchen, tropiſchen und ſynodiſchen Umlaufszeit der bisher beſprochenen Planeten.

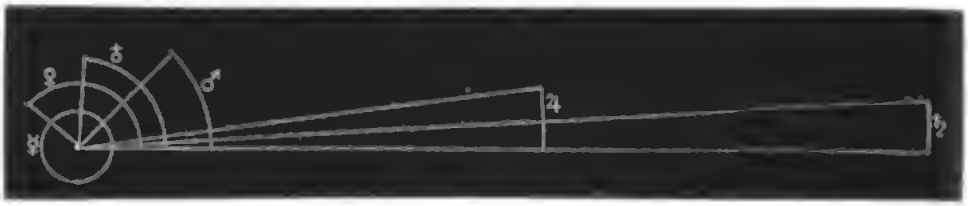
	Umlaufszeit		
	ſideriſche.	tropiſche.	ſynodiſche.
Mercur	87ᵗ 23ʰ 16′	87ᵗ 23ʰ 15′	115ᵗ 21ʰ
Venus	224 16 49	224 16 41	583 22
Erde	365 6 9	365 5 19	
Mars	686 23 30	686 22 18	780 0
Jupiter	4332 14 2	4330 14 10	398 22
Saturn	10759 5 16	10746 22 30	378 2

Aus den oben angegebenen Werthen für die ſideriſche Umlaufszeit der Planeten ergiebt ſich, daß die Winkelgeſchwindigkeit, mit welcher ſie ſich in ihren Bahnen um die Sonne bewegen, um ſo geringer iſt, je weiter ſie von der Sonne abſtehen. Während Mercur einen ganzen ſideriſchen Umlauf vollendet, hat der Winkel, welchen die übrigen Planeten in der gleichen Zeit zurücklegen, nahezu folgende Werthe:

Mercur	360°	Mars	46,1°
Venus	140,8	Jupiter	7,3
Erde	87,8	Saturn	2,9.

Dies Verhältniß wird durch Fig. 93 anſchaulich gemacht.

Fig. 93.



Aber nicht allein die Winkelgeſchwindigkeit, ſondern auch die abſolute Geſchwindigkeit der Planeten in ihren Bahnen iſt um ſo geringer, je größer ihr Abſtand von der Sonne iſt. Der Weg, welchen im Durchſchnitt die einzelnen Planeten in ihren Bahnen fortſchreitend in 1 Secunde zurücklegen, iſt für

Mercur	6,7 Meilen	Mars	3,4 Meilen
Venus	4,9 »	Jupiter	1,7 »
Erde	4,7 »	Saturn	1,3 »

55 **Die Kepler'ſchen Geſetze.** Obgleich das Copernicaniſche Syſtem die Grundlage für alle weiteren Entwickelungen der Aſtronomie bildet, ſo war

durch daſſelbe für die praktiſche Aſtronomie unmittelbar doch nicht viel gewonnen, denn die nach demſelben vorausberechneten Planetenörter ſtimmten mit den beobachteten Bahnen kaum genauer überein, als die nach den früheren Hypotheſen berechneten Oerter. Die Differenz zwiſchen Rechnung und Beobachtung ging weit über die Gränze der Beobachtungsfehler hinaus.

Dies konnte auch Tycho de Brahe, den erſten beobachtenden Aſtronomen ſeiner Zeit, veranlaſſen, dem Copernicaniſchen Syſtem ſeine Anerkennung zu verſagen, dem alten Vorurtheile huldigend, daß die Erde im Weltraume feſtſtehe; er ſtellte das Syſtem auf, welches wir S. 125 kennen lernten.

Kepler war Jahre lang bemüht, die Grundidee des Copernicaniſchen Syſtems adoptirend, daſſelbe ſo zu modificiren, daß man die Bahn der Planeten mit genügender Genauigkeit danach berechnen könne. Bloße Veränderungen in den Elementen der Planetenbahnen führten nicht zum Ziele; die zahlreichen und genauen Beobachtungen der Sonne und mehrerer Planeten, welche Tycho de Brahe hinterlaſſen hatte, ließen ſich auf dieſe Weiſe nicht mit dem Copernicaniſchen Syſtem in Uebereinſtimmung bringen.

Zunächſt ließen ſich die Tychoniſchen Beobachtungen nicht mit der Annahme in Uebereinſtimmung bringen, daß die Planeten mit gleichförmiger Geſchwindigkeit in ihren Bahnen fortſchreiten, und durch eine ſorgfältige und mühſame Combination des vorhandenen Beobachtungsmaterials gelangte endlich Kepler in Beziehung auf die Geſchwindigkeit zu dem Geſetze, welches wir bereits oben S. 102 kennen gelernt haben und welches den Namen des erſten Kepler'ſchen Geſetzes führt. Dieſes Geſetz gilt ebenſo wie für die Erde auch für alle anderen Planeten.

Das zweite Geſetz, welches Kepler aus den Tychoniſchen Beobachtungen ableitete, bezieht ſich auf die Geſtalt der Planetenbahnen. Auch dieſes Geſetz iſt bereits oben (S. 103) erwähnt worden. Nach dem zweiten Kepler'ſchen Geſetze bewegen ſich die Planeten in Ellipſen und die Sonne ſteht in dem einen Brennpunkte derſelben.

Die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte der Ellipſe wird, wie bereits Seite 103 erwähnt wurde, die Excentricität genannt.

Die Geſtalt der Ellipſe iſt beſtimmt, wenn man ihre halbe große Axe (die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne) und ihre Excentricität kennt; um die Lage der Bahn im Raume zu kennen, muß man noch die Neigung der Bahn, die Länge des Periheliums und die Länge des aufſteigenden Knotens kennen. Zum Theil ſind dieſe Elemente für die Erde und die mit bloßem Auge ſichtbaren Planeten ſchon in der Tabelle auf Seite 136 mitgetheilt worden, die übrigen folgen hier:

	Excentricität.	Länge des Periheliums.
Mercur	0,206	74° 57,5′
Venus	0,007	124 14,4
Erde	0,017	100 11,5
Mars	0,093	333 6,6
Jupiter	0,048	11 45,5
Saturn	0,056	89 54,7

Die Excentricität iſt hier in Theilen der halben großen Axe ausgedrückt. Man ſieht, daß ſie für den Mercur und den Mars am bedeutendſten iſt.

Bezeichnen wir die halbe große Axe der Mercursbahn mit 1, ſo iſt die Excentricität nach obiger Tabelle 0,206, und daraus folgt dann, daß die halbe kleine Axe der Mercursbahn 0,978 iſt. Bei der Kleinheit des Maßſtabes, in welchem die Tab. VIII. ausgeführt iſt, kann alſo die Differenz der großen und kleinen Axe der Mercursbahn ganz unberückſichtigt bleiben; die Mercursbahn iſt deshalb gleich den Bahnen der anderen Planeten auf Tab. VIII. und IX., deren Excentricität noch geringer iſt, als vollſtändiger Kreis gezogen. Jedoch liegt die Sonne, wie man ſieht, nicht im Mittelpunkte dieſer Kreiſe, ſondern ſie ſteht von demſelben ſo weit ab, wie es nach dem Werthe der Excentricität der obigen Tabelle ſein muß.

Nur für die Erd- und Venusbahn iſt die Excentricität ſo gering, daß bei dem Maßſtab der beiden Tafeln VIII. und IX. die Sonne mit dem Mittelpunkte der Kreiſe zuſammenfällt.

In Tab. VIII. und IX. iſt die Stelle der Sonnennähe jedes einzelnen Planeten durch einen von der Sonne ausgehenden Pfeil bezeichnet.

Das dritte Kepler'ſche Geſetz bezieht ſich auf das Verhältniß, welches zwiſchen der Umlaufszeit der Planeten und ihrer mittleren Entfernung von der Sonne beſteht. Es heißt:

Die Quadrate der Umlaufszeiten verſchiedener Planeten verhalten ſich wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Bezeichnen wir mit T und R die Umlaufszeit und die mittlere Entfernung eines Planeten von der Sonne, mit t und r die entſprechenden Größen für einen anderen Planeten, ſo iſt dem dritten Kepler'ſchen Geſetze zufolge

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{t^2}{r^3},$$

oder in Worten, der Quotient, welchen man erhält, wenn man das Quadrat der Umlaufszeit eines Planeten durch die dritte Potenz ſeiner mittleren Entfernung von der Sonne dividirt, iſt eine conſtante Größe.

Drückt man die Umlaufszeit eines Planeten in Tagen aus, während man die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne als Längeneinheit nimmt, so ergiebt sich jener Quotient gleich 133407, wovon man sich leicht mit Hülfe der in der Tabelle auf Seite 136 mitgetheilten Zahlen überzeugen kann.

Die absolute Entfernung der verschiedenen Planeten von der Sonne kannte Kepler zwar noch nicht; zur Aufstellung des dritten Gesetzes war aber auch die Kenntniß dieser absoluten Entfernung gar nicht nöthig, es genügte zu wissen, wie sich die Abstände der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn verhalten, wie denn ja auch in der Tabelle auf Seite 136 der Halbmesser der Erdbahn als Längeneinheit genommen ist, mit welcher die Abstände der übrigen Planeten von der Sonne gemessen sind.

Gehen wir jetzt zu der Betrachtung der einzelnen Planeten über.

Mercur. Mercur steht der Sonne stets so nahe, daß er nie bei voller 56
Nacht, sondern nur in der Morgen- oder Abenddämmerung gesehen werden kann. Der größte Winkelabstand, bis zu welchem er sich möglicherweise von der Sonne entfernen kann, beträgt 27° 42′. Er kann deshalb nicht leicht beobachtet werden, namentlich in höheren Breiten, wo die Dämmerung länger dauert. Durch das Fernrohr betrachtet, zeigt der Mercur Phasen, welche denjenigen ganz ähnlich sind, die man an der Venus beobachtet und die im nächsten Paragraphen ausführlicher besprochen werden sollen.

Wenn die untere Conjunction des Mercur zu einer Zeit stattfindet, wo dieser Planet sich ganz in der Nähe eines der Knotenpunkte seiner Bahn befindet, so sieht man ihn als einen scharfen schwarzen Punkt vor der Sonnenscheibe vorübergehen. Solche Durchgänge des Mercur, deren durchschnittlich 13 in einem Jahrhundert stattfinden, sind jedoch mit bloßem Auge nicht wahrnehmbar; es bedarf dazu eines Fernrohrs.

Kepler kündigte zuerst einen solchen Durchgang für das Jahr 1631 an und Gassendi beobachtete denselben zu Paris am 6. November des genannten Jahres. Im Reste des gegenwärtigen Jahrhunderts werden solche Vorübergänge des Mercur vor der Sonnenscheibe noch an folgenden Tagen stattfinden:

Am 11. November 1861, am 7. November 1881*,
» 4. November 1868, » 9. Mai 1891*,
» 6. Mai 1878, » 10. November 1894.

Die beiden mit * bezeichneten Durchgänge sind in Deutschland unsichtbar.

Solche Durchgänge sind sehr geeignet, um den scheinbaren Durchmesser des Mercur zur Zeit seiner unteren Conjunction zu messen.

Die kleinste Entfernung des Mercur von der Sonne beträgt ungefähr 6 Millionen, die größte 10 Millionen, die mittlere 8 Millionen Meilen.

Die größte Entfernung, bis zu welcher möglicherweise Mercur sich von der Erde entfernen kann, beträgt 30 Millionen, die kleinstmögliche aber 11 Millionen Meilen.

Der Durchmesser des Mercur beträgt 670 Meilen, oder nahezu 0,4 Erddurchmesser.

57 **Venus.** Unter allen Planeten kommt keiner der Erde ſo nahe als die Venus, welche ſich auch durch ihr blendend weißes intenſives Licht vor allen übrigen auszeichnet.

Da die größte Elongation der Venus 45 bis 48° beträgt, ſo kann dieſer Planet ſchon drei Stunden vor Sonnenaufgang oder noch drei Stunden nach Sonnenuntergang am Himmel ſichtbar ſein; er kann alſo bei voller Nacht beobachtet werden.

Die Erſcheinungen, welche die Venus darbietet, ſind im Weſentlichen dieſelben, wie die bereits beim Mercur erwähnten; weil ſie aber bei der Venus viel leichter wahrnehmbar ſind, ſo ſollen dieſelben hier auch ausführlicher beſprochen werden.

Nach der oberen Conjunction entfernt ſich die Venus raſch von der Sonne, und zwar nach Oſten hin, ſo daß ihr Untergang *nach* dem Untergang der Sonne ſtattfindet, der Planet alſo in den *Abendſtunden* ſichtbar wird, weshalb er zu dieſer Zeit den Namen *Abendſtern* führt.

Indem ſich Venus öſtlich von der Sonne entfernt, nimmt ihr Glanz ſowohl wie ihr ſcheinbarer Durchmeſſer zu. Wenn man ſie durch ein Fernrohr betrachtet, ſo beobachtet man eine Abnahme der Lichtgeſtalt auf der der Sonne abgewendeten Seite, wenn die Venus ſich ihrer größten Elongation nähert; hat ſie aber ihre größte öſtliche Entfernung von der Sonne erreicht, ſo erſcheint ſie nur noch *halb* erleuchtet, ſie erſcheint uns wie der Mond im erſten Viertel.

Fig. 94 dient dazu, ſowohl die ſcheinbare Bewegung der Venus in Beziehung auf die Sonne als auch den Wechſel der Lichtgeſtalten anſchaulich zu machen; ſie ſtellt nämlich die *ſcheinbare* Bewegung der Venus um die Sonne im Jahre 1847 dar. Am 1. Januar 1847 ſtand die Venus ungefähr 4° öſtlich von der Sonne; am 29. März ging ſie durch den aufſteigenden Knoten 24° von der Sonne entfernt; den größten öſtlichen Abſtand von 45¾ Grad erreichte ſie am 21. Juli, nahe um dieſelbe Zeit, in welcher ſie den niederſteigenden Knoten paſſirte. Um dieſe Zeit der größten Elongation erſcheint die Venus halb beleuchtet.

Wegen des ſtarken Glanzes der Venus iſt die Abnahme ihrer Lichtgeſtalt auf der Oſtſeite erſt deutlich wahrzunehmen, wenn dieſelbe ſchon weit vorgeſchritten iſt.

Nachdem die größte Elongation erreicht worden iſt, nähert ſich die Venus anfangs langſam, dann aber ſehr raſch der Sonne wieder, wobei ihr ſcheinbarer Durchmeſſer bedeutend wächſt, während die Lichtgeſtalt auf der Oſtſeite mehr und mehr abnimmt. Kurz vor der unteren Conjunction erſcheint uns die Venus, durch ein Fernrohr geſehen, nur noch als eine ſchmale Sichel, worauf ſie dann in den Strahlen der Sonne verſchwindet, um nach kurzer Zeit auf der Weſtſeite derſelben wieder zu erſcheinen. Venus geht nun *vor* der Sonne auf, ſie iſt *Morgenſtern*.

Nach der unteren Conjunction nimmt die Lichtgeſtalt der Venus allmälig wieder zu, bis ſie die größte weſtliche Elongation erreicht hat, wo ſie wieder die Geſtalt eines Halbmondes zeigt.

Fig. 94.

Zur Zeit der unteren Conjunction hatte die Venus im Jahre 1847 eine über 8 Grad betragende südliche Declination, sie ging also unterhalb der Sonne vorüber; zu anderen Zeiten geht sie in gleicher Weise auf der Nordseite der Sonne vorüber.

Wenn die untere Conjunction der Venus und der Sonne zu einer Zeit stattfindet, wo die nördliche oder südliche Declination der Venus Null oder doch sehr gering ist, zur Zeit also, wo die Venus den aufsteigenden oder niedersteigenden Knoten passirt, so sieht man die Venus durch Fernröhre als einen völlig schwarzen, scharf begränzten runden Fleck von mehr als 1′ Durchmesser vor der Sonnenscheibe vorübergehen. Fig. 95 stellt den Venusdurchgang von 1761 und den Mercursdurchgang von 1710 dar.

Nach dem eben Gesagten kann ein Venusdurchgang nur zu einer Zeit stattfinden, wo sich die Erde ganz in der Nähe von einem der Punkte f oder g, Tab. VII., befindet, in welchen die Knotenlinie AB der Venusbahn die Erdbahn schneidet. In f befindet sich die Erde am 5. Juni, in g aber am 7. December.

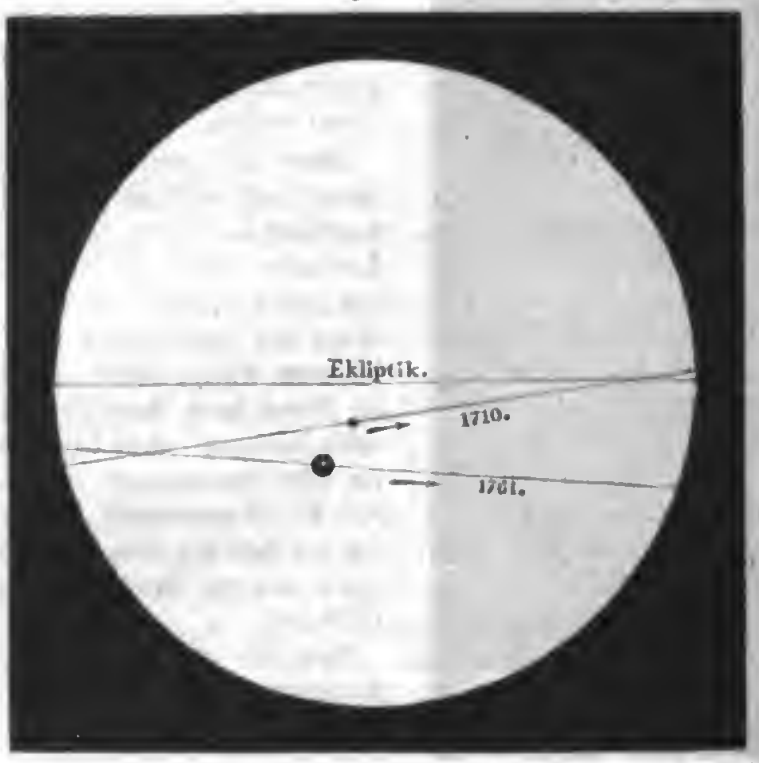
Es kann demnach ein Venusdurchgang nur stattfinden, wenn eine untere Conjunction der Venus an einem der Tage vom 2. bis 8. Juni oder vom 4. bis 10. December eintritt.

Der erste Venusdurchgang, welcher beobachtet wurde, fand am 4. December 1639 Statt. Danach ereigneten sich zwei Durchgänge am 6. Juni 1761 und am 3. Juni 1769. Die nächsten vier Durchgänge werden stattfinden:

Am 8. December 1874,
» 6. December 1882,
» 7. Juni 2004,
» 5. Juni 2012.

Es iſt bereits oben S. 105 angeführt worden, daß die Beobachtung der Venusdurchgänge von großer Wichtigkeit für die Beſtimmung der Sonnenparall-

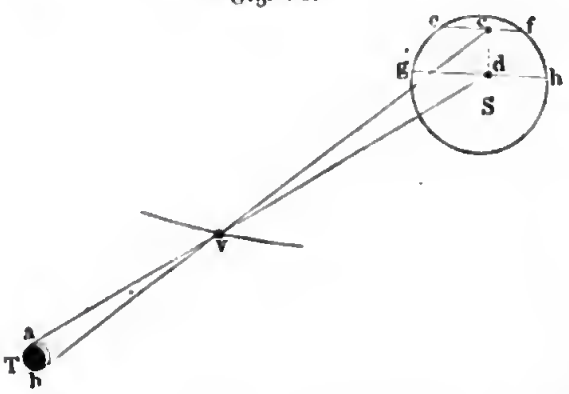
Fig. 95.



axe iſt; wir wollen nun ſehen, worin das Weſentliche dieſer Beſtimmungsmethode beſteht.

Es ſei T, Fig. 96, die Erde, S die Sonne und zwiſchen beiden ſtehe die Venus in v. Von verſchiedenen Orten der Erde aus geſehen erſcheint natürlich die Venus auf verſchiedenen Stellen der Sonnenſcheibe projicirt, z. B. von a aus geſehen in d, von b aus geſehen in c. ef iſt der Weg, welchen die Venus, von b aus geſehen, auf der Sonnenſcheibe zurücklegt, gh iſt der dem Beobachtungspunkte a entſprechende Weg.

Fig. 96.



Der Abſtand cd der beiden Linien ef und gh verhält ſich zu ab, Fig. 96, wie dv zu av oder wie die Entfernung der Venus von der Sonne zu der Entfernung der Venus von der Erde.

Bezeichnet man den Abſtand der Erde von der Sonne mit 1, ſo iſt der Abſtand der Venus von der Sonne 0,723, alſo der Abſtand der Venus von der Erde zur Zeit der unteren Conjunction 0,277; wir haben alſo:

$$ab : cd = 0{,}277 : 0{,}723, \text{ und daraus ergiebt ſich:}$$
$$cd = 2{,}6\ ab.$$

Der Abſtand der beiden Linien ef und gh, in welchen, von a und b aus geſehen, die Venus vor der Sonnenſcheibe hergeht, erſcheint alſo von der Erde aus geſehen 2,6mal ſo groß als der Abſtand ab der beiden Beobachtungspunkte auf der Erde von der Sonne aus geſehen.

Es kommt alſo nun zunächſt darauf an, den Abſtand cd zu ermitteln. Dieſer ergiebt ſich aber, wenn man in a ſowohl wie in b die Zeitdauer beobachtet, während welcher die Venus vor der Sonnenſcheibe verweilt; aus der Zeit nämlich, welche der Planet braucht, um von a aus geſehen die Sehne gh und von b aus geſehen die Sehne ef zu beſchreiben, kann man auf die Länge dieſer Sehnen, und da der ſcheinbare Durchmeſſer der Sonne bekannt iſt, auf ihre Lage auf der Sonnenſcheibe ſchließen, woraus ſich alsdann auch der von der Erde aus geſehene Winkelabſtand der beiden Sehnen ergiebt.

Nun aber iſt ab 2,6mal kleiner als cd und ſomit ergiebt ſich alſo auch aus dieſen Beobachtungen, unter welchem Winkel, von der Sonne aus geſehen, die Sehne ab erſcheint, woraus ſich dann leicht die Horizontalparallaxe der Sonne, d. h. der Winkel ergiebt, unter welchem der Radius der Erde, von der Sonne aus geſehen, erſcheint.

Am 3. Juni 1769 wurde der Venusdurchgang an vielen Orten der Erde beobachtet. Beſonders günſtig zur Berechnung der Sonnenparallaxe waren die Beobachtungsorte Cajanaburg in Finnland (64° 13′ nördl. Br.) und O-Taiti in der Südſee (17° ſüdl. Br.). Am erſteren Orte betrug die Dauer des Durchganges 6ʰ 11′ 40″, am letzteren 5ʰ 48′ 4″, woraus ſich der ſchon oben erwähnte Werth für die Horizontalparallaxe der Sonne, nämlich 8,6 Secunden ergiebt.

Die Berechnung der Sonnenparallaxe nach dieſer Methode wird dadurch etwas verwickelter, daß die Durchgangszeiten durch die Ortsveränderung modificirt werden, welche die Beobachtungsorte in Folge der Axendrehung und der fortſchreitenden Bewegung der Erde erleiden. Hier, wo es ſich nur darum handelt, die Grundidee der Methode verſtändlich zu machen, können wir aber nicht näher auf dieſe Details eingehen.

Der Lichtglanz der Venus iſt ſo lebhaft, daß die ſorgfältigſten Beobachtungen in Beziehung auf die phyſiſche Natur ihrer Oberfläche noch zu keinem Reſultate führten. Manchmal erſcheinen äußerſt ſchwache, kaum wahrnehmbare Flecken, aus deren Bewegung man geſchloſſen hat, daß die Venus ſich in 23 Stunden 21 Minuten um ihre Axe dreht. Faſt daſſelbe Reſultat in Betreff der Axendrehung liefert auch die Beobachtung gewiſſer in regelmäßigen Perioden wiederkehrenden kleinen Veränderungen in der Geſtalt der Hörner der Venusſichel.

Das blendende Licht der Venusſichel verliert ſich allmälig gegen die Nachtſeite der Venus hin; es findet hier keine ſcharfe Gränze zwiſchen Licht und Dunkel Statt, wie beim Mond, und daraus hat man geſchloſſen, daß auf der Venus wie auf der Erde vor dem Aufgange und nach dem Untergange der Sonne eine Dämmerung ſtattfinde, daß alſo die Venus von einer Atmoſphäre umgeben ſei.

Nach den Beobachtungen von Schröter ſollen einzelne Venusberge fünf- bis ſechsmal ſo hoch ſein als die höchſten Gebirge der Erde.

Unter allen Planetenbahnen hat die Bahn der Venus die geringſte Excentricität. Ihre mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 15 Millionen, der Unterſchied zwiſchen ihrem größten und ihrem kleinſten Abſtande von der Sonne beträgt nur 200000 Meilen.

Die Venus kann ſich der Erde bis auf $5\frac{1}{4}$ Millionen Meilen nähern und ſich bis auf 36 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Der wahre Durchmeſſer der Venus beträgt 1717 Meilen; ſie iſt alſo faſt ebenſo groß wie die Erde.

58 **Mars.** Die Bahn dieſes Planeten iſt ſehr excentriſch; ſeine größte Entfernung von der Sonne iſt 1,66, ſeine kleinſte aber 1,38mal ſo groß als der mittlere Abſtand der Erde von der Sonne. Der mittlere Abſtand des Mars von der Sonne beträgt 32 Millionen Meilen. Der Erde kann ſich dieſer Planet bis auf $7\frac{3}{4}$ Millionen Meilen nähern und ſich bis auf 55 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Als oberer Planet kann der Mars nie zwiſchen Erde und Sonne zu ſtehen kommen, alſo nie einen vollſtändigen Phaſenwechſel zeigen wie Venus und Mercur. Zur Zeit der Conjunction und der Oppoſition erſcheint er als volle kreisförmige Scheibe, die aber bis zur Quadratur auf der von der Sonne abgewendeten Seite abnimmt, ſo daß um dieſe Zeit die Marsſcheibe ungefähr ſo erſcheint wie der Mond vier Tage vor oder nach dem Vollmonde.

Mit bloßem Auge geſehen zeigt Mars ein entſchieden rothes Licht. Mit dem Fernrohre betrachtet zeigt er Flecken, aus deren Bewegung man gefolgert hat, daß dieſer Planet ſeine Axendrehung in 24 Stunden 37 Minuten vollendet. An den Polen erſcheint er ſchwach abgeplattet. Nach Arago's Meſſungen beträgt dieſe Abplattung $\frac{1}{39}$.

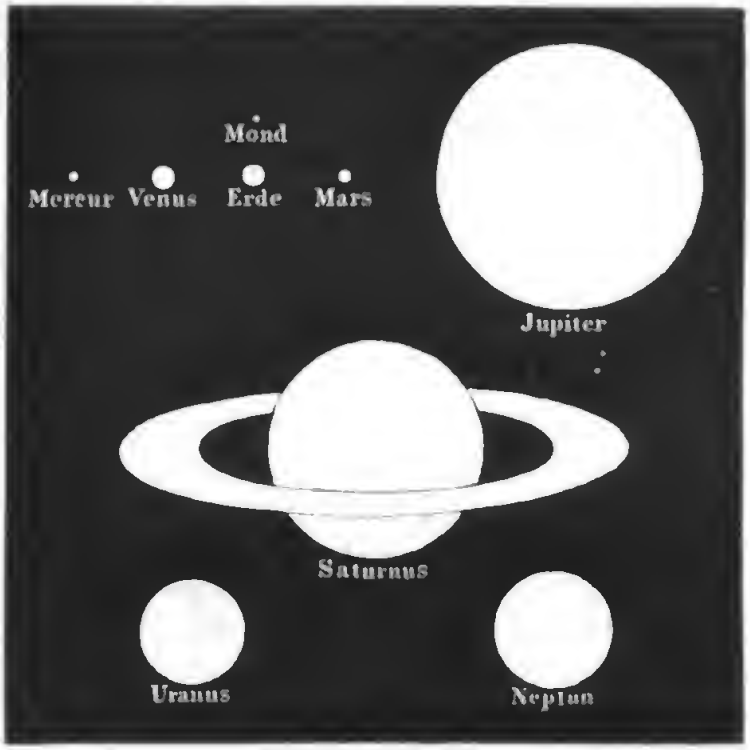
An den Polen des Mars zeigen ſich zwei ſehr deutliche weiße Flecken, wie man Fig. 3 auf Tab. X. ſieht, welche den Anblick des Mars durch ſtark vergrößernde Fernrohre zeigt. Dieſe Flecken nehmen abwechſelnd an Größe ab und zu. Es iſt wahrſcheinlich, daß dieſelben von großen Schnee- und Eismaſſen herrühren, welche ſich während des Winters an den Polen anhäufen und dann während des Sommers wieder abnehmen. Aus der Beobachtung dieſer Flecken hat man geſchloſſen, daß der Aequator des Mars einen Winkel von 28° 42′ mit ſeiner Bahn macht; es findet alſo auf dieſem Planeten ein Wechſel der Jahreszeiten in ähnlicher Weiſe Statt wie auf der Erde.

Der Durchmeſſer des Mars beträgt 884 Meilen.

Jupiter. Die Entfernung des Jupiter von der Sonne variirt zwiſchen 59
$102^1/_2$ und zwiſchen $112^1/_2$ Millionen Meilen. Der Erde nähert er ſich bis auf 82 Millionen und entfernt ſich von ihr bis auf 133 Millionen Meilen.

Jupiter iſt ſehr ſtark abgeplattet; der Polardurchmeſſer iſt um $^1/_{14}$ kleiner als der Aequatorialdurchmeſſer, welcher 20,000 Meilen beträgt, alſo ungefähr 11mal größer iſt als der Durchmeſſer der Erde.

Fig. 97.



Jupiter iſt unter allen Planeten der größte; ſein Größenverhältniß zur Sonne iſt bereits durch Fig. 67 auf Seite 107 anſchaulich gemacht worden; in gleicher Weiſe dient Fig. 97 dazu, das Größenverhältniß des Jupiter zu den übrigen Planeten zu verſinnlichen. Man ſieht aus dieſer Figur, daß der Größe nach auf den Jupiter der Saturn und auf dieſen Neptun und Uranus folgen. Venus und Erde ſind nahe gleich groß, Mars iſt weit kleiner, Mercur kaum größer als unſer Mond.

Mit guten Fernrohren beobachtet man auf der Jupitersſcheibe parallele dunklere Streifen, deren Geſtalt und Lage ziemlich veränderlich iſt. Gewöhnlich ſind zwei ſolcher Streifen gegen die Mitte der Scheibe hin beſonders deutlich. Außerdem beobachtet man oft noch Flecken, welche nach einiger Zeit wieder verſchwinden. Fig. 1 und Fig. 2 auf Tab. X. zeigen das Anſehen des Jupiter, wie derſelbe von Mädler und Beer am 2. Januar 1835 und am 4. Januar 1836 beobachtet wurde. Die ſchwärzlichen Flecken, die man in der einen Jupitersfigur auf Tab. X. bemerkt, waren vom 4. November 1834 bis zum 18. April

1835 ſichtbar, während der Streifen, auf welchem ſie ſich befinden, im Laufe des Februar verſchwand.

Aus der Beobachtung ſolcher Flecken ergiebt ſich, daß ſich Jupiter mit großer Geſchwindigkeit um ſeine Axe dreht, und zwar vollendet er ſeine Axendrehung in 9 Stunden 55 Minuten. Die oben beſprochenen Streifen ſind dem Aequator des Jupiter parallel, welcher nur einen Winkel von 3° mit der Ebene der Jupitersbahn macht, woraus ſich ergiebt, daß der Wechſel der Jahreszeiten auf dieſem Planeten kaum merklich ſein kann.

Die bedeutende Abplattung des Jupiter iſt eine Folge ſeiner raſchen Axendrehung.

Jupiter wird von vier Trabanten umkreiſt, deren nähere Betrachtung weiter unten folgt.

60 **Saturn.** Der größte Abſtand dieſes Planeten von der Sonne beträgt $208\frac{1}{4}$, ſein kleinſter $186\frac{1}{4}$ Millionen Meilen. Seine Entfernung von der Erde wechſelt zwiſchen $165\frac{1}{2}$ und 229 Millionen Meilen.

Die ſideriſche Umlaufszeit des Saturn beträgt 29 Jahre 166 Tage 23,25 Stunden.

Seine Abplattung beträgt etwas weniger als $\frac{1}{10}$ des Aequatorialdurchmeſſers, welcher 16305 Meilen, alſo ungefähr 9mal ſo groß iſt als der Durchmeſſer der Erde.

Saturn zeigt ähnliche Streifen wie der Jupiter, nur ſind ſie nicht ſo deutlich. Aus der Beobachtung einzelner Flecken hat man geſchloſſen, daß die Umdrehung um die Axe in 10^h 29′ vollendet wird. Die Ebene des Saturnsäquators macht einen Winkel von 28° 40′ mit ſeiner Bahn.

Vor allen anderen Planeten iſt Saturn durch einen Ring ausgezeichnet, welcher in der Ebene des Saturnsäquators freiſchwebend den Planeten umgiebt. Fig. 4 auf Tab. X. ſtellt den Saturn mit ſeinem Ringe dar, wie ihn ſehr gute und ſtark vergrößernde Fernrohre zeigen. Dieſer Ring iſt ziemlich breit und dabei ſehr dünn.

Mit bloßem Auge iſt dieſe merkwürdige Erſcheinung nicht wahrnehmbar, und die erſten Aſtronomen, welche den Saturn durch Fernrohre beobachteten, konnten über das wahre Weſen derſelben noch nicht ins Reine kommen. Fig. 98 ſtellt die Abbildung dar, welche Galiläi vom Saturn gab und der ihn tergeminum oder tricorporeum nannte. Hevel ſtellte den Saturn als gleichſam mit zwei Henkeln verſehen dar; erſt Huyghens kam auf die richtige Vorſtellung.

Fig. 98.

Der Anblick, welchen uns der Saturnsring darbietet, iſt keineswegs ſtets derſelbe; denn die Umdrehungsaxe des Saturn behält im Weltraume ſtets dieſelbe Richtung, wie dies ja auch bei der Erdaxe der Fall iſt, folglich wird die Ebene des Saturnsringes ſtets parallel mit ſich ſelbſt verſchoben, wie dies Fig. 99 dargeſtellt iſt.

Wenn die heliocentrische Länge des Saturn ungefähr 344° ist, wenn er also ungefähr in der Mitte des Zeichens der Fische sich befindet (bei *g*, Fig. 99), so liegt die Sonne in der verlängerten Ringebene; von der Sonne aus

Fig. 99.

gesehen wird also der Ring des Saturn zur Linie verkürzt erscheinen. Bewegt sich nun der Planet in der Richtung des Pfeiles weiter, so wird man alsbald von der Sonne aus auf die Nordseite des Ringes sehen können; er erscheint zunächst als eine flache Ellipse, deren kleine Axe mehr und mehr wächst, bis sie endlich ihr Maximum erreicht, wenn Saturn ungefähr in der Mitte des Zeichens der Zwillinge, also bei *a*, Fig. 99, steht.

Der Ring verschwindet wieder, wenn Saturn im Zeichen der Jungfrau steht; er erscheint wieder in seiner größten Breite, wenn der Planet in der Mitte des Zeichens des Schützen angelangt ist.

Die Erde steht der Sonne im Verhältniß zum Halbmesser der Saturnsbahn so nahe, daß von ihr aus der Saturnsring fast ebenso gesehen wird, wie er von der Sonne aus gesehen erscheint.

Da die siderische Umlaufszeit des Saturn fast 30 Jahre beträgt, so wird einem vollständigen Cyclus der Ringgestalten ein Zeitraum von 30 Jahren entsprechen.

Fig. 100 und Fig. 101 stellen die wesentlichsten Veränderungen der Ringgestalt während eines Umlaufs des Saturn dar, und zwar mit Angabe der Jahre, in welchen er zunächst diese Gestalten annehmen wird. Im Jahre 1855 erschien der Ring so ziemlich in seiner größten Breite; im Jahre 1863 erscheint er uns zur Linie verkürzt und von da an bis 1877, wo der Ring abermals verschwindet, sehen wir auf seine südliche Fläche.

Bis jetzt hat man 8 Saturnstrabanten entdeckt.

Uranus. Wir haben bis jetzt nur diejenigen Planeten betrachtet, welche 61
mit bloßem Auge sichtbar sind. Selbst nachdem die Fernrohre erfunden waren, dauerte es noch geraume Zeit, bis sie zur Entdeckung neuer Planeten führten.

Am 13. März 1781 beobachtete Herschel im Bilde der Zwillinge einen Stern, der sich durch einen merklichen Durchmesser auszeichnete und schon am nächsten Abend eine kleine Ortsveränderung zeigte. Es stellte sich durch fortgesetzte Beobachtung dieses Sternes alsbald heraus, daß er ein Planet sei, welcher noch jenseits der Saturnsbahn um die Sonne kreist.

Fig. 100.

Fig. 101.

Nach Bode's Vorschlag wurde der neue Planet Uranus (♅) genannt.

Uranus erscheint höchstens als ein Stern sechster Größe, und nur durch ganz ausgezeichnete Fernrohre erscheint sein Durchmesser groß genug, um ihn von einem Fixsterne zu unterscheiden.

Die siderische Umlaufszeit des Uranus beträgt 84 Jahre 5 Tage 19 Stunden 41,6 Minuten. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 19,18mal so groß als der Abstand der Erde von der Sonne oder $396\frac{1}{2}$ Millionen Meilen. Die Excentricität seiner Bahn ist 0,0466.

Die Neigung seiner Bahn ist nur 46,5′; die Länge des aufsteigenden Knotens 72°59′21″; die Länge des Periheliums ist 167°30′24″.

In seiner Erdnähe ist sein scheinbarer Durchmesser 4,3″ und daraus ergiebt sich, daß sein wahrer Durchmesser gleich 7466 Meilen ist.

Zwei auf einander folgende Oppositionen des Uranus sind am Himmel nur um $4\frac{1}{2}$ Grad von einander entfernt.

Uranus ist gleichfalls von mehreren Trabanten umkreist, welche später näher betrachtet werden sollen.

Die kleinen Planeten. Wenn man die Abstände der älteren Pla- 62
neten von der Sonne aufmerksam betrachtet, so findet man zwischen Mars und Jupiter eine auffallende Lücke. Bezeichnet man nämlich den Abstand des Mercur von der Sonne mit 4, so hat man für

Mercur . . .	4		
Venus . . .	7,5	also nahezu	$4 + 1 \times 3$
Erde . . .	10,3	» »	$4 + 2 \times 3$
Mars . . .	15,7	» »	$4 + 4 \times 3$
Jupiter . . .	53,7	» »	$4 + 16 \times 3$
Saturn . . .	98,3	» »	$4 + 32 \times 3$.

In obiger Reihe der Factoren von 3 ist jeder folgende doppelt so groß als der vorhergehende, nur fehlt zwischen 4×3 (Mars) und 16×3 (Jupiter) das Glied 8×3. Diese Lücke, welche schon Kepler auffiel, veranlaßte unter den Astronomen die Hoffnung, zwischen Mars und Jupiter einen neuen Planeten aufzufinden. Namentlich war es Bode, welcher diese Ansicht vertrat.

Diese Hoffnung ist verwirklicht worden; aber statt eines einzigen Planeten, welchen man zwischen Mars und Jupiter vermuthete, sind ihrer bereits 55 entdeckt worden, die man mit dem gemeinschaftlichen Namen der kleinen Planeten oder der Planetoiden bezeichnete.

Am 1. Januar 1801 erblickte Piazzi zu Palermo einen kleinen Stern im Sternbilde des Widders, der alsbald eine merkliche Ortsveränderung zeigte und den er zuerst für einen Kometen hielt, dessen planetarische Natur sich aber bald herausstellte; Piazzi legte dem neu entdeckten Planeten den Namen Ceres (⚳) bei.

Ceres unterscheidet sich im Ansehen nicht von einem teleskopischen Sterne siebenter bis neunter Größe; ihr scheinbarer Durchmesser ist so gering, daß man ihn mit Sicherheit noch nicht bestimmen konnte.

Schon am 28. März 1802 entdeckte Olbers in Bremen einen zweiten zwiſchen Mars und Jupiter kreiſenden Planeten, den er Pallas (⚴) nannte. Dieſer Entdeckung folgte am 1. September 1804 die der Juno (⚵) durch Harding in Lilienthal und der Veſta (⚶) am 29. März 1807 durch Olbers.

Für weitere Entdeckungen von Planeten ſind zuverläſſige Sternkarten, welche wenigſtens die Thierkreiszone umfaſſen und auch wenigſtens die größeren der teleſkopiſchen Sterne enthalten, von großer Wichtigkeit. So entdeckte Dr. Hencke in Drieſen am 8. December 1845 durch Vergleichung des Himmels mit den ausgezeichneten Sternkarten der Berliner Akademie die Aſträa und am 1. Juli 1847 die Hebe. Hind in London entdeckte am 13. Auguſt 1847 die Iris und am 18. October deſſelben Jahres die Flora.

Dieſe in den Jahren 1845 und 1847 entdeckten Planeten kreiſen wie die 1801 bis 1804 entdeckten zwiſchen Mars und Jupiter. In demſelben Gürtel wurden aber ſpäter noch eine große Zahl kleiner Planetchen aufgefunden, ſo daß man deren jetzt ſchon 55 kennt, deren Namen ſind:

1. Ceres.	20. Maſſalia.	38. Leda.
2. Pallas.	21. Luletia.	39. Lätitia.
3. Juno.	22. Calliope.	40. Harmonia.
4. Veſta.	23. Thalia.	41. Daphne.
5. Aſträa.	24. Themis.	42. Iſis.
6. Hebe.	25. Phocäa.	43. Ariadne.
7. Iris.	26. Proſerpina.	44. Nyſa.
8. Flora.	27. Euterpe.	45. Eugenia.
9. Metis.	28. Bellona.	46. Heſtia.
10. Hygiea.	29. Amphitrite.	47. Aglaja.
11. Parthenope.	30. Urania.	48. Doris.
12. Victoria.	31. Euphroſyna.	49. Pales.
13. Egeria.	32. Pomona.	50. Virginia.
14. Irene.	33. Polyhymnia.	51. Nemauſa.
15. Eunomia.	34. Circe.	52. Europa.
16. Pſyche.	35. Leukothea.	53. Calypſo.
17. Thetis.	36. Atalante.	54. Alexandra.
18. Melpomene.	37. Fides.	55.
19. Fortuna.		

Der 55ſte iſt noch nicht getauft.

Alle dieſe Planeten ſind teleſkopiſch. Für die meiſten derſelben iſt es noch nicht gelungen, den ſcheinbaren Durchmeſſer mit Sicherheit zu meſſen. Der wahre Durchmeſſer der Veſta iſt nach Mädler's Meſſungen 66 Meilen ($^1/_7$ des Monddurchmeſſers). Nach Lamont's Beobachtungen iſt der Durchmeſſer der Pallas nicht mehr als 145 Meilen. Juno hat ſchwerlich über 80 Meilen im Durchmeſſer.

Unter dieſen kleinen Planeten hat Flora den kleinſten, und Hygiea den größten mittleren Abſtand von der Sonne; erſterer iſt 2,20, letzterer 3,15, wenn man den Abſtand der Erde von der Sonne gleich 1 ſetzt.

Die Bahnen dieſer kleinen Planeten ſind meiſtens ſehr ſtark excentriſch; ſo iſt z. B. die Excentricität der Iris 0,227, die der Juno 0,255, die der Pallas 0,242. Die geringſte Excentricität 0,077 hat die Bahn der Ceres.

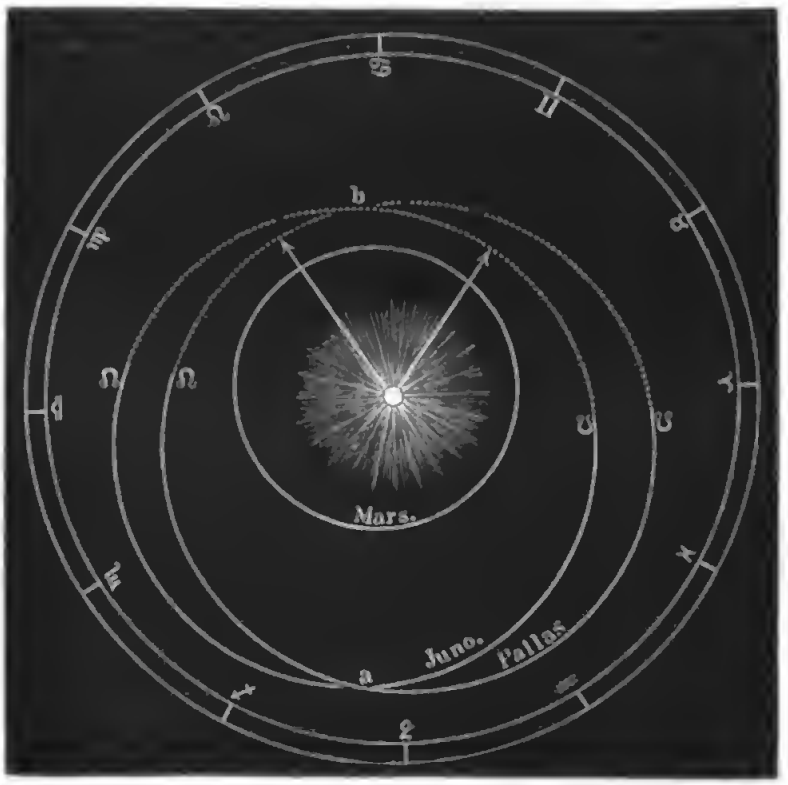
Die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik iſt bei den kleinen Planeten meiſtens ſehr beträchtlich; ſie iſt z. B.

für Flora . . .	5° 53′	für Juno . . .	13° 2′
» Ceres . . .	10 37	» Pallas . .	34 35.

Deshalb entfernen ſich auch die ſcheinbaren Bahnen der Planetoiden oft ſehr weit von der Ekliptik; ſo durchlief z. B. Pallas im Jahre 1852 vom 27. Grad ſüdlicher Declination an die Sternbilder Eridanus, Orion, kleiner Hund, Waſſerſchlange, Sextant und Jungfrau.

Aus den angegebenen Verhältniſſen erſieht man ſchon, daß die Bahnen der kleinen Planeten ſich nicht einander einſchließen können, wie z. B. die Bahn der Venus die des Mercur, und die Bahn der Erde wieder die der Venus einſchließt, ſondern es finden mannigfache Verſchlingungen dieſer Bahnen Statt, wie man aus Fig. 102 ſieht, welche die Bahnen der Juno und der Pallas darſtellt.

Fig. 102.



Bei *a* läuft die Bahn der Pallas nördlich über, bei *b* läuft ſie ſüdlich unter der Bahn der Ceres her, ſo daß ſich die beiden Bahnen förmlich durchſchlingen.

Es iſt die Vermuthung ausgeſprochen worden, daß die Planetoiden Trüm-

mer eines größeren Planeten ſeien, eine Meinung, welche bis jetzt weder beſtätigt noch widerlegt werden konnte.

63 **Neptun.** Zu den ſchönſten Triumphen der Wiſſenſchaft gehört die Entdeckung des Neptun (♆), welcher noch jenſeits des Uranus um die Sonne kreiſt. Die Entdeckungsgeſchichte dieſes Planeten können wir erſt ſpäter beſprechen, wenn von der gegenſeitigen Maſſenanziehung der Planeten die Rede ſein wird. Die halbe große Axe ſeiner Bahn iſt ungefähr 36,154 und ſeine Umlaufszeit 217,4 Jahre. Da er erſt im Jahre 1846 entdeckt worden iſt, und man ihn alſo bis jetzt nur in einem ſehr kleinen Theile ſeiner Bahn beobachten konnte, ſo kann man die übrigen Elemente ſeiner Bahn noch nicht mit hinlänglicher Genauigkeit angeben.

Neptun erſcheint ungefähr wie ein Stern achter Größe; in jedem Jahre rückt er am Himmel ungefähr um 2° voran. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer iſt ungefähr 2,5″; demnach wäre ſein wahrer Durchmeſſer 8400 Meilen, während ſein Abſtand von der Sonne 744 Millionen Meilen beträgt.

Auch ein Trabant des Neptun iſt bereits aufgefunden worden.

64 **Sternſchnuppen, Feuerkugeln und Meteorſteine.** Eine allgemein bekannte Erſcheinung, welche deshalb auch keine weitere Beſchreibung bedarf, ſind die Sternſchnuppen. Durch correſpondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternſchnuppen 34 bis 35 Meilen beträgt, und daß ſie ſich mit einer Geſchwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Secunde bewegen.

Eine höchſt merkwürdige Erſcheinung ſind die periodiſch wiederkehrenden Sternſchnuppenſchwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis 14. November und am 10. Auguſt (dem Feſte des heiligen Laurentius) beobachtet; das letztere Phänomen wird in England ſchon in einem alten Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erſcheinung erwähnt. Einer der bedeutendſten Sternſchnuppenſchwärme wurde den 12. bis 13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternſchnuppen faſt wie Schneeflocken zuſammengedrängt erſchienen, ſo daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln ſcheinen mit den Sternſchnuppen gleichen Urſprungs und gleicher Natur zu ſein und ſich nur durch die Größe der Erſcheinung von einander zu unterſcheiden. Bei den großen Sternſchnuppenſchwärmen ſah man Feuerkugeln unter den Sternſchnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter großem Getöſe und laſſen dann Steinmaſſen herabfallen, welche unter dem Namen Meteorſteine oder Aërolithen bekannt ſind. Auch bei Tage hat man ſolche Meteorſteine aus kleinen graulichen Wolken ebenfalls unter ſtarkem Getöſe herabfallen ſehen.

Die friſch gefallenen Meteorſteine ſind noch heiß und in Folge der Geſchwindigkeit des Falles mehr oder weniger tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man ſehr geneigt, das Herabfallen von Steinmaſſen aus der Luft für Mährchen zu erklären; ſeitdem aber haben ſich Meteorſteinfälle ereignet, welche von mehreren Perſonen beobachtet und durch ſachkundige Männer gehörig conſtatirt wurden. Dahin gehört beſonders der Meteorſteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne, welchen Biot unterſuchte, und der am 22. Mai 1808 zu Stannern in Mähren. Am 13. November 1835 (alſo zur Zeit der Sternſchnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Die Meteorſteine haben eine eigenthümliche Phyſiognomie, wodurch ſie ſich von allen irdiſchen Foſſilien unterſcheiden; dennoch aber ſind ſie unter einander wieder ſo verſchieden, daß Chladni, welcher ſich ſoviel mit dieſem Gegenſtande beſchäftigte, es für ſchwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; beſonders charakteriſtiſch iſt aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eiſen, und eine pechartig glänzende, zugleich geäderte Rinde, welche faſt nie fehlt. Eine weitere Beſchreibung würde uns zu tief in mineralogiſche Details führen.

Man hat an verſchiedenen Orten Steinmaſſen auf dem Boden gefunden, welche den Gebirgsſyſtemen jener Gegenden ganz fremd ſind, die aber mit notoriſchen Meteorſteinen die größte Aehnlichkeit haben, und iſt deshalb berechtigt, auch dieſe für Aërolithen zu halten.

Die Maſſe der Meteorſteine iſt oft ſehr groß.

Eines der Bruchſtücke, welche zu Aigle im Jahre 1803 fielen, wog 17 Pfd. Im Jahre 1751 fiel bei Hradſchma im Agramer Comitat ein 71 Pfd. ſchwerer Meteorſtein. Eine im Jahre 1814 zu Lenarto in Ungarn aufgefundene Meteorſteinmaſſe wog 194 Pfd. Eine in Sibirien aufgefundene, von Pallas beſchriebene Maſſe von Meteoreiſen wog 1400 Pfd., in Mexico fand man ſolche, welche 300 bis 400 Centner wogen.

Es iſt kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternſchnuppen, Feuerkugeln und Meteorſteine kosmiſchen Urſprungs, daß ſie höchſt wahrſcheinlich Maſſen ſind, welche wie die Planeten um die Sonne kreiſen und, in die Anziehungsſphäre der Erde gerathend, herabfallen. Die Feuer- und Lichterſcheinung erklärt ſich am einfachſten durch die Annahme, daß dieſe kleinen Weltkörper mit einer Atmoſphäre brennbarer Gaſe umgeben ſind, welche ſich beim Eintritte in die ſauerſtoffhaltige Atmoſphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen einzeln um die Sonne kreiſenden Maſſen der Art ganze Schwärme derſelben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines ſolchen Ringes an einer beſtimmten Stelle die Erdbahn ſchneidet, ſo erklären ſich dadurch die periodiſchen Sternſchnuppenfälle.

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

65 **Die Trabanten.** Mit dem Namen der Trabanten oder der Satelliten bezeichnet man ſolche Himmelskörper, welche die Planeten nach denſelben Geſetzen umkreiſen, wie die Planeten ſelbſt die Sonne, Himmelskörper alſo, welche die Planeten auf ihren Bahnen begleiten, woher auch der Name. Vor der Entdeckung der Fernrohre war nur ein einziger derartiger Satellit bekannt, nämlich der Mond, deſſen Centralkörper die Erde iſt. Zu den erſten Entdeckungen aber, welche Galiläi mit dem neu erfundenen Fernrohre machte, gehört die, daß der Jupiter von vier Trabanten in ähnlicher Weiſe umkreiſt wird, wie die Erde von einem einzigen. Später wurden auch noch Trabanten des Saturn und des Uranus entdeckt.

66 **Scheinbare Bahn des Mondes.** Nächſt der Sonne iſt für uns unſtreitig der Mond das wichtigſte aller Geſtirne. Wie die Sonne ſchreitet er in der Richtung von Weſt nach Oſt unter den Sternen des Thierkreiſes fort, aber weit raſcher als die Sonne, indem er von einem Tage zum andern faſt um 13 Grade in der angegebenen Richtung vorrückt.

Fig. 103 ſtellt die ſcheinbare Bahn des Mondes vom 1. bis zum 27. Januar 1855 dar. Man ſieht zunächſt daraus, daß der Mond ſtets rechtläufig iſt und daß in ſeiner Bahn keine Schlingen und Schleifen vorkommen, wie wir ſie bei den Planetenbahnen beobachteten.

Die ſcheinbare Bahn des Mondes bildet (wenn man vor der Hand von kleinen Abweichungen abſieht) einen größten Kreis an der Himmelskugel, welcher die Ekliptik in zwei Punkten, den Knoten, ſchneidet. In unſerer Figur ſehen wir den aufſteigenden Knoten bei *c*, den niederſteigenden bei *d*.

Da die zweite Ungleichheit bei der ſcheinbaren Mondbewegung ganz fehlt, da letztere uns eben ſo einfach erſcheint, wie die Bewegung der verſchiedenen Planeten von der Sonne aus geſehen, ſo iſt klar, daß der Mond um die Erde kreiſt. Die ſideriſche Umlaufszeit des Mondes, d. h. die Zeit, in welcher der Mond einen vollen Umlauf um die Erde vollendet, beträgt 27 Tage 7^h 43′ 11,5″.

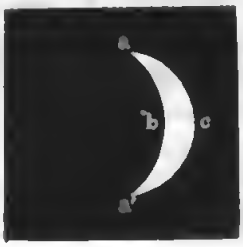
Fig. 103.

Der Mond kommt mit der Sonne sowohl in Conjunction als auch in Opposition. Diese beiden Stellungen des Mondes zur Sonne werden mit dem gemeinschaftlichen Namen der Syzygien bezeichnet.

Die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit des Mondes ist die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Conjunctionen des Mondes und der Sonne verstreicht. Sie ist größer als die siderische Umlaufszeit; denn während der Mond, von einer Conjunction mit der Sonne ausgehend, einen vollen Umlauf von 360° zurücklegt, ist die Sonne auch weiter nach Osten fortgerückt, der Mond muß also über die 360° hinaus sich noch weiter fortbewegen, um die Sonne wieder einzuholen. Die synodische Revolution des Mondes beträgt 29 Tage 12ʰ 44′ 2,9″.

Phasen des Mondes. Je nach den **67** verschiedenen Stellungen des Mondes zur Sonne bietet er uns verschiedene Anblicke dar, welche man mit dem Namen der Phasen bezeichnet. Der Mond selbst ist dunkel; alles Licht, welches er uns zusendet, ist reflectirtes Sonnenlicht; der Anblick des Mondes muß sich also ändern, je nachdem er uns mehr die dunkle oder die erleuchtete Seite zuwendet. Befindet sich der Mond mit der Sonne in Conjunction, so ist er uns vollkommen unsichtbar, wenn er nicht gerade unmittelbar vor der Sonnenscheibe steht. Es ist dies der Neumond. Alsbald entfernt sich der Mond nach Osten hin von der Sonne und erscheint uns nun als eine Sichel, Fig. 104, deren Wölbung gegen die

Fig. 104.



Sonne, alſo gegen Weſten gekehrt iſt. Anfangs iſt die Sichel ganz ſchmal; ſie wird aber allmälig breiter und wenn der Mond in Quadratur iſt, ſo erſcheint er uns wie ein leuchtender Halbkreis, Fig. 105. Es iſt dies das erſte Viertel. Der erleuchtete Theil des Mondes wächſt nun immer noch, Fig. 106, bis er uns endlich zur Zeit der Oppoſition als eine volle kreisförmige glänzende Scheibe erſcheint, Fig. 107. Es iſt dies der Vollmond.

Bald nach der Oppoſition nimmt der Mond auf der Weſtſeite ab, Fig. 108, bis er in der zweiten Quadratur wieder nur halb erſcheint, aber jetzt die gewölbte

Fig. 105.

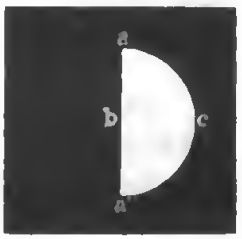


Fig. 106.

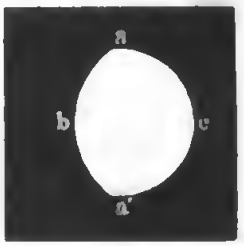


Fig. 107.

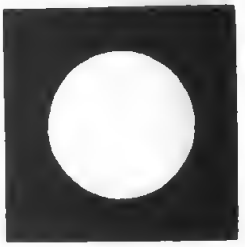


Fig. 108.

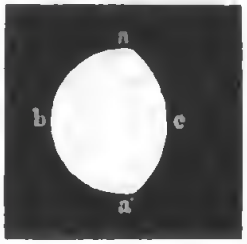


Fig. 109.

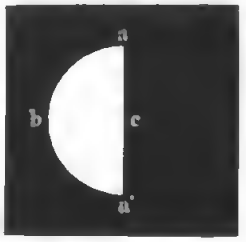


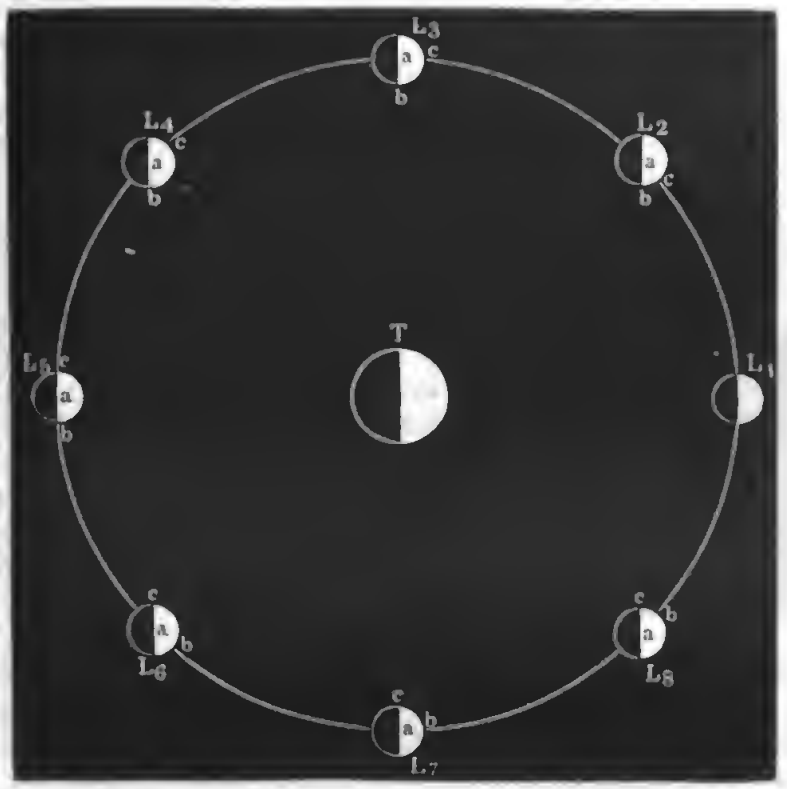
Fig. 110.

Seite nach Oſten kehrend, Fig. 109. Es iſt dies das letzte Viertel. Nun wird die Sichel, ihre Wölbung immer noch nach Oſten kehrend, wieder ſchmäler und ſchmäler, Fig. 110, bis ſie endlich zur Zeit des Neumondes wieder ganz verſchwindet.

Es iſt leicht, die Phaſen des Mondes zu erklären. In Fig. 111 (a. f. S.) ſei T die Erde, L_1, L_2, $L_3 \ldots L_8$ der Mond in acht verſchiedenen Stellungen, welche er während eines Umlaufes um die Erde paſſirt. Nehmen wir an, die Sonne befände ſich auf der rechten Seite unſerer Figur und zwar in großer Entfernung. Wenn der Mond ſich in L_1, alſo zwiſchen der Erde und der Sonne befindet, ſo wendet er der Erde ſeine dunkle Seite zu, wir haben Neumond; iſt aber der Mond in die Stellung L_2 gelangt, ſo erſcheint er uns in der Geſtalt Fig. 104, denn in dieſer Stellung iſt der uns ſichtbare Theil der erleuchteten Mondhälfte begränzt durch den Halbkreis aca' (a bezeichnet den Gipfelpunkt des Mondes, a' den tiefſten, welcher in Fig. 111 nicht ſichtbar iſt, weil er vertical unter a liegt) und durch den Halbkreis aba'. Erſterer erſcheint uns als voller Halbkreis, die weſtliche Gränze der Mondſcheibe bildend; letzterer aber, die Oſtgränze bildend, zur Ellipſe verkürzt, welche gleichfalls ihre Wölbung nach Weſten kehrt.

Iſt der Mond in die Stellung L_3 gelangt, ſo erſcheint die weſtliche Gränze noch immer als ein voller Halbkreis. Der Halbkreis $a\,b\,a'$ aber, welcher auf

Fig. 111.



der uns zugekehrten Mondhälfte Licht und Schatten ſcheidet, erſcheint uns zur geraden Linie verkürzt; wir ſehen alſo den Mond in der Geſtalt Fig. 105.

Wird der Winkelabſtand des Mondes von der Sonne noch größer, kommt er in die Stellung L_4, ſo erſcheint uns nun die Gränzlinie $a\,b\,a'$ wieder elliptiſch; aber die Wölbung jetzt nach Oſten kehrend, während die weſtliche Gränze des Mondes noch immer ein voller Halbkreis iſt, Fig. 106.

Zur Zeit der Oppoſition iſt uns die ganze erleuchtete Hälfte des Mondes zugekehrt, er erſcheint uns alſo als eine volle kreisförmige helle Scheibe.

Nach dieſen Auseinanderſetzungen hat es wohl keine Schwierigkeit mehr, die Mondgeſtalten Fig. 108, 109, 110 aus den Stellungen bei L_6, L_7 und L_8 abzuleiten.

Wegen der ſo ſchnellen eigenen Bewegung des Mondes ändert ſich auch die Zeit ſeines Auf- und Unterganges ſehr raſch; an jedem folgenden Tage geht der Mond faſt eine Stunde ſpäter auf als am vorhergehenden.

Die Stunden des Auf- und Unterganges des Mondes ſtehen mit ſeinen Phaſen in engſter Beziehung. Zur Zeit des Neumondes gehen Mond und Sonne zuſammen auf und unter; der Mond iſt alſo während des Tages — über,

während der Nacht — unter dem Horizont, die Nächte ſind zur Zeit des Neumondes nicht durch Mondſchein erhellt.

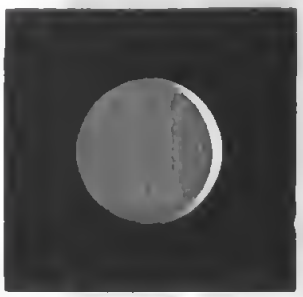
Zur Zeit des Vollmondes dagegen findet der Aufgang des Mondes ungefähr zur Zeit des Sonnenunterganges Statt; der Vollmond leuchtet uns alſo die ganze Nacht hindurch.

Zur Zeit des erſten Viertels culminirt der Mond ungefähr, wenn die Sonne untergeht, der Untergang des Mondes findet alsdann um Mitternacht Statt; das erſte Viertel glänzt alſo am weſtlichen Himmel in der erſten Hälfte der Nacht.

Zur Zeit des letzten Viertels findet der Aufgang des Mondes um Mitternacht Statt, das letzte Viertel erhellt alſo die letzte Hälfte der Nacht.

Wenn der Mond der Conjunction ſehr nahe iſt, wenn er uns alſo nur als eine ganz ſchmale Sichel erſcheint, ſo iſt der Reſt der Mondſcheibe nicht völlig dunkel, ſondern man ſieht ihn durch einen ſchwachen aſchfarbigen Schimmer erhellt, wie Fig. 112 andeutet.

Fig. 112.



Es iſt dies nicht etwa ein dem Monde eigenthümliches Licht, ſondern es rührt daher, daß zur Zeit des Neumondes die ganze von der Sonne erleuchtete Erdhälfte gerade dem Monde zugekehrt iſt. Die Mondnacht iſt zu dieſer Zeit durch den vollen Erdſchein erleuchtet.

68 **Geſtalt der Mondsbahn.** Der ſcheinbare Durchmeſſer des Mondes variirt zwiſchen 29′ und 34′, die Entfernung des Mondes von der Erde iſt alſo veränderlich und ebenſo iſt auch die Winkelgeſchwindigkeit des Mondes in ſeiner ſcheinbaren Bahn nicht gleichförmig. Unter genauer Berückſichtigung aller dieſer Umſtände ergiebt ſich, daß die Bahn des Mondes in Beziehung auf die Erde eine Ellipſe iſt; die Excentricität der Mondsbahn beträgt ungefähr $^1/_{18}$ der halben großen Axe.

Die Ebene der Mondsbahn macht im Mittel einen Winkel von 5° 9′ mit der Ekliptik.

Die Bewegung des Mondes um die Erde, welche nach dem Geſagten ziemlich einfach erſcheint, iſt aber in der That ſehr verwickelt, weil die Elemente der Mondsbahn ſich ſehr raſch ändern.

Die auffallendſte Veränderung in den Elementen der Mondsbahn iſt zunächſt die raſche Verſchiebung der Knoten. Die Bewegung der Knotenlinie iſt rückläufig und vollendet ihren ganzen Umlauf ungefähr in 18 Jahren 219 Tagen; die Ebene der Mondsbahn dreht ſich alſo gegen die Ordnung der Zeichen in einem Jahre etwas über 19°. So war die Länge des aufſteigenden Knotens im Januar 1855 ungefähr 49° (*c*, Fig. 103). Bis zum Januar 1856 rückte der aufſteigende Knoten ungefähr um 19° dem Frühlingspunkte näher, ſo daß um dieſe Zeit ſeine Länge ungefähr nur noch 30° betrug. Ungefähr in der Mitte des Jahres 1857 erreichte der aufſteigende Knoten der Mondsbahn den Frühlingspunkt; der niederſteigende Knoten fiel damals mit ☊ zuſammen.

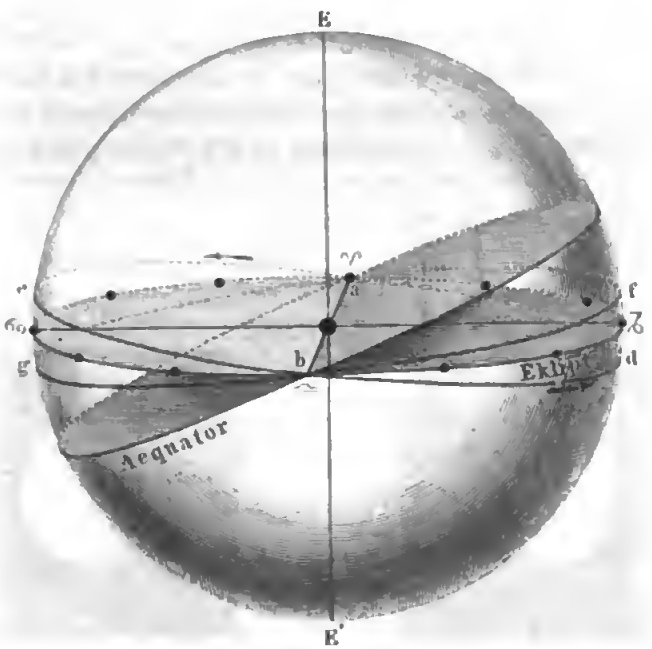
Zu einer Zeit, in welcher der aufſteigende Knoten der Mondsbahn, wie dies im Jahre 1857 der Fall war, mit 0 ♈, der abſteigende aber mit 0 ♎ zuſammenfällt, erreicht ſowohl die nördliche als auch die ſüdliche Declination ein Maximum; denn der Winkel, welchen die Mondsbahn mit dem Himmelsäquator macht, iſt in dieſem Fall gleich dem Winkel, welchen die Mondsbahn mit der Ekliptik macht, + dem Winkel zwiſchen Ekliptik und Aequator, alſo $23^{\circ}28' + 5^{\circ}9' = 28^{\circ}37'$. Die Mondsbahn geht alsdann von 0 ♈ (ſiehe die Sternkarte Tab. IV.) über die Plejaden dicht unter β tauri und β geminorum vorbei durch den Herbſtpunkt und über α virginis und α scorpii zum Frühlingspunkt zurück.

Die Neigung der Mondsbahn gegen den Himmelsäquator wird ein Minimum, nämlich $23^{\circ}28' - 5^{\circ}9' = 18^{\circ}19'$, wenn der niederſteigende Knoten mit dem Frühlingspunkte zuſammentrifft. Der Mond tritt alsdann in 0 ♈ auf die Südſeite der Ekliptik, und ſeine ſcheinbare Bahn geht nun ungefähr über Aldebaran etwas nördlich von γ geminorum vorbei nach 0 ♎ über γ librae und dann zwiſchen α und β Capricorni hindurch.

Es wird dies zunächſt ungefähr $9^1/_4$ Jahr nach der zuerſt beſprochenen Periode, alſo im Herbſt 1866 wieder ſtattfinden.

Zur Erläuterung der eben beſprochenen Verhältniſſe dient noch Fig. 113,

Fig. 113.



welche die Himmelskugel ſammt dem Aequator und der Ekliptik darſtellt. Dieſe beiden Ebenen ſind der Deutlichkeit wegen ſchattirt. $a\,c\,b\,d$ iſt die auf die Himmelskugel projicirte Mondsbahn zu einer Zeit, in welcher der aufſteigende Knoten derſelben mit dem Frühlingspunkte zuſammenfällt; der Winkel, welchen die Ebene der Mondsbahn mit dem Aequator macht, iſt alsdann $28^{\circ}37'$.

In dieſer Stellung bleibt aber die Mondsbahn nicht ſtehen; ſie bewegt ſich ſo, als ob ſie bei unveränderter Neigung gegen die Ekliptik um die Axe EE' derſelben gegen die Ordnung der Zeichen gedreht würde, ſo daß der aufſteigende Knoten allmälig von ♈ nach ♑ und dann weiter von ♑ nach ♎ rückt. Iſt der aufſteigende Knoten in 0 ♎, alſo in b angelangt, ſo hat nun die Ebene der Mondsbahn die Lage $agbf$, ſie macht zu dieſer Zeit nur noch einen Winkel von 18° 19′ mit dem Aequator.

Hier mag noch die Bemerkung Platz finden, daß der Mond den nördlichen Wendepunkt ſeiner Bahn im Sommer um die Zeit des Neumondes, im Winter zur Zeit des Vollmondes paſſirt. Der Vollmond bleibt alſo in den Wintermonaten weit länger über dem Horizont als in den Sommermonaten.

Die Abſidenlinie (die große Axe) der Mondsbahn ändert ihre Lage gleichfalls ſehr raſch. Das Perigäum ſchreitet rechtläufig in jedem Jahre faſt um 41° voran, ſo daß es in 8 Jahren 310 Tagen 14 Stunden einen vollſtändigen Umlauf um den ganzen Himmel herum macht.

Ferner iſt die Excentricität und die Neigung der Mondsbahn gegen die Ekliptik innerhalb gewiſſer Gränzen veränderlich. Dieſe und noch manche andere Unregelmäßigkeiten des Mondlaufes, auf die wir zum Theil zurückkommen, wenn von den phyſikaliſchen Urſachen derſelben die Rede ſein wird, machen, daß die genaue Berechnung der Mondsörter eine äußerſt verwickelte iſt.

69 **Sternbedeckungen.** Wenn der Mond zwiſchen der Erde und einem Fixſterne oder einem Planeten hindurchgeht, ſo ſagt man, daß der Mond dieſelben bedecke. Solche Sternbedeckungen kommen ziemlich häufig vor.

Da der Mond unter den Fixſternen in der Richtung von Weſt nach Oſt fortſchreitet, ſo iſt klar, daß die Sterne auf ſeiner Oſtſeite verſchwinden und auf der Weſtſeite wieder zum Vorſchein kommen.

Fig. 114 und Fig. 115 ſtellen zwei Bedeckungen von α scorpii dar, wie

Fig. 114.

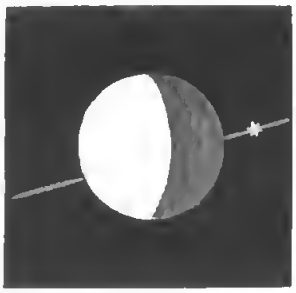
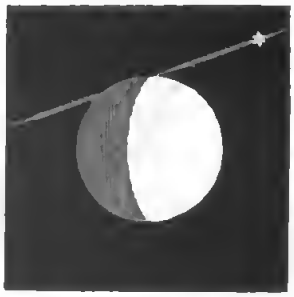


Fig. 115.



ſie zu Berlin erſchienen ſind. Die erſte fand am 26. März 1856 Statt. Der Stern trat um 16ʰ 39,2′ am öſtlichen Rande des Mondes ein und um 17ʰ 58,6′ auf der Weſtſeite wieder aus, die Bedeckung dauerte alſo 1 Stunde 19,4 Minuten. Bei der in Fig. 115 dargeſtellten Bedeckung, welche am 10.

August 1856 stattfand, war die Zeit des Eintritts $5^h\,38{,}3'$, die Zeit des Austritts $6^h\,9{,}7'$ Berliner Zeit.

Das Verschwinden und das Wiedererscheinen der Sterne erfolgt plötzlich; besonders scharf lassen sich die Eintritte beobachten, wenn sie am dunklen Rande stattfinden, wie in dem Fig. 115 abgebildeten Falle.

Von den Sternen erster Größe können vier bedeckt werden, nämlich Aldebaran, Regulus, Spica und Antares. Ein besonders interessantes Schauspiel bietet die Bedeckung der Plejaden dar.

Die Bedeckungen von α tauri finden Statt, wenn die Neigung der Mondsbahn gegen den Aequator sehr klein ist, wenn also ihr aufsteigender Knoten sich in der Nähe von $0\,\Aries$ befindet; dagegen werden die Plejaden bedeckt, wenn der Winkel, welchen die Ebene der Mondsbahn mit dem Aequator macht, seinem größten Werthe nahe ist, wenn also der aufsteigende Knoten in der Nähe des Frühlingspunktes liegt, wie dies z. B. im Jahre 1857 der Fall war.

Es ist bereits oben in §. 19 (S. 55) angeführt worden, daß die Sternbedeckungen ein ausgezeichnetes Mittel zur Längenbestimmung sind; aus diesem Grunde werden für alle Hauptsternwarten die Bedeckungen (Occultationen) der Fixsterne erster bis sechster Größe auf mehrere Jahre vorausberechnet. In den Ephemeriden findet man den Moment des Eintritts und den Moment des Austritts der Fixsterne oder Planeten nach der Zeit der entsprechenden Sternwarte ausgedrückt.

Parallaxe, Entfernung und Grösse des Mondes. Der Mond 70
steht der Erde so nahe, daß er, gleichzeitig von verschiedenen Orten der Erdoberfläche aus betrachtet, an verschiedenen Stellen des Himmelsgewölbes projicirt erscheint; wenn zu Berlin ein Stern eben den nördlichen Mondrand berührt, so wird der Mond, vom Cap der guten Hoffnung aus betrachtet, noch nördlich von jenem Sterne gesehen werden, und zwar wird der Abstand des Sternes vom südlichen Mondrande noch ungefähr $50'$ betragen.

Es geht daraus hervor, daß die Mondparallaxe sehr bedeutend ist, und daher kommt es auch, daß sie schon sehr früh annähernd genau war bestimmt worden. Schon Hipparch bestimmte sie zu 47,5 bis 55,5 Minuten, während ihr mittlerer Werth in der That nahezu 58 Minuten beträgt.

Am einfachsten und genauesten erhält man die Mondparallaxe dadurch, daß zwei Beobachter an zwei möglichst weit von einander entfernten Orten, welche nahezu auf demselben Meridian liegen, an demselben Tage die Zenithdistanz des Mondes zur Zeit der Culmination bestimmen.

So fand z. B. den 6. December 1751 Lalande in Berlin die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes beim Durchgang durch den Meridian gleich $41°\,15'\,44''$, während auf dem Cap der guten Hoffnung an demselben Tage Lacaille bei der Culmination des Mondes die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes gleich $46°\,33'\,37''$ fand.

Die Polhöhe von Berlin ist $52°\,31'\,13''$ nördl.

Die Polhöhe des Caps ist $33°\,55'\,15''$ südl.

In Fig. 116 ſei C der Mittelpunkt der Erde, B Berlin, K das Cap der guten Hoffnung, L der ſüdliche Mondrand. ZBL iſt die zu Berlin und

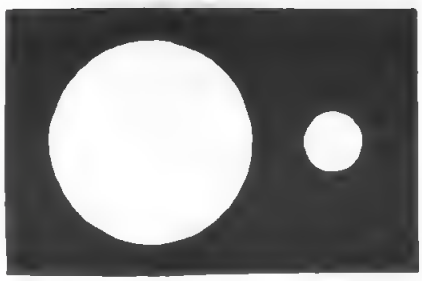
Fig. 116.

$Z'KL$ iſt die auf dem Cap beobachtete Zenithdiſtanz des ſüdlichen Mondrandes. — Wäre der Mond unendlich weit entfernt, ſo wären die nach ihm von B und K aus gerichteten Viſirlinien BL und KL einander parallel und die Summe der Zenithdiſtanzen ZBL und $Z'KL$ müßte gleich ſein dem Winkel BCK, alſo 86° 26′ 28″. Die Summe der beobachteten Zenithdiſtanzen iſt aber 87° 49′ 21″, mithin iſt der Winkel NKL, alſo auch Winkel $BLK =$ 1° 22′ 53″, oder mit anderen Worten, die Sehne BK erſcheint, vom Mond aus geſehen, unter einem Winkel von 1° 22′ 53″. Danach ergiebt ſich dann die Horizontalparallaxe des Mondes, d. h. der Winkel, unter welchem, vom Mond aus geſehen, der Halbmeſſer der Erde erſcheint, wenn man bei der Berechnung alle nöthigen Correctionen anbringt, gleich 0° 58′ 44,2″.

Da die Entfernung des Mondes von der Erde variirt, ſo iſt auch die Horizontalparallaxe des Mondes veränderlich; der mittlere Werth derſelben iſt 0° 57′ 19,9″, und demnach iſt die mittlere Entfernung des Mittelpunktes des Mondes vom Mittelpunkte der Erde gleich 59,94643 Halbmeſſern des Erdäquators oder 51535 geographiſchen Meilen.

Da nun die Entfernung des Mondes von der Erde und der ſcheinbare Durchmeſſer bekannt iſt, unter welchem er uns erſcheint, ſo kann man auch den wahren Durchmeſſer deſſelben berechnen, welcher ſich gleich 0,2742 Erddurchmeſſern oder gleich 472 geographiſchen Meilen ergiebt.

Fig. 117.



Der Durchmeſſer des Mondes iſt alſo ungefähr $^3/_{11}$, die Oberfläche deſſelben $^3/_{40}$ und das Volumen deſſelben $^2/_{97}$ von den entſprechenden Größen der Erde.

Fig. 117 dient dazu, um das Größenverhältniß der Erde und des Mondes anſchaulich zu machen.

Fig. 118 ſtellt die Erde, den Mond und ihre gegenſeitige Entfernung im richtigen Verhältniß dar.

Bahn des Mondes im Sonnensystem. Wir haben oben die Bewegung des Mondes nur in Beziehung auf die Erde betrachtet; da aber die Erde ſelbſt eine fortſchreitende Bewegung hat, da ſie um die Sonne kreiſt, ſo iſt die Bahn des Mondes im Raume oder vielmehr in Beziehung auf die Sonne eine Epicycloide (§. 49). Die Mondcycloide zeigt aber keine Verſchlingungen, wie wir ſie oben kennen lernten, weil der Halbmeſſer des Deferenten ſehr groß iſt im Vergleich zum Radius des Epicykels, und weil die Geſchwindigkeit des Mondes im Epicykel ſehr gering iſt gegen die Geſchwindigkeit der Erde in ihrer Bahn. Der Charakter der Mondcycloide iſt aus Fig. 119 zu erſehen, deren Conſtruction nach §. 49 wohl leicht verſtändlich ſein wird; doch iſt hier noch zu bemerken, daß dieſe Figur die Mondcycloide noch keineswegs im richtigen Verhältniß zeigt, vielmehr iſt der Abſtand des Mondes von der Erde in dieſer Figur noch viel zu groß genommen im Vergleich zum Halbmeſſer der Erdbahn. Sollte in der Zeichnung das richtige Verhältniß eingehalten werden, ſo müßte der Radius des Epicykels $^1/_{400}$ vom Radius des Deferenten, es müßte TL, T_1L_1 u. ſ. w. $\cdot\,^1/_{400}$ des Halbmeſſers ſein, mit welchem der Bogen TT_4 gezogen iſt; die Mondcycloide iſt alſo in der That viel flacher als die in unſerer Figur dargeſtellte Curve. 71

Fig. 118.

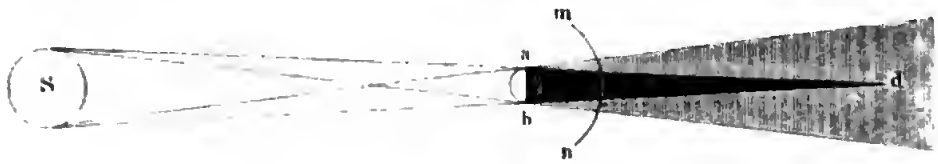
Fig. 119.

Die Geſchwindigkeit, mit welcher der Mond in ſeiner Bahn um die Erde fortſchreitet, iſt ungefähr 30mal geringer, als die Geſchwindigkeit der Erde auf ihrem Wege um die Sonne.

Mondfinsternisse. Da die Erde ein dunkler undurchſichtiger Körper iſt, ſo muß ſie einen Schatten geben, welcher, da die Erde kleiner iſt, als die Sonne, die Geſtalt eines Kegels abd, Fig. 120 (a. f. S.), hat, deſſen kreisförmige Baſis durch den Umfang der Erde gebildet iſt. In dieſen Raum abd dringt gar kein Sonnenſtrahl, es iſt der **Kernſchatten**. Dieſer Kern- 72

schatten ist ringsum von einem Halbschatten umgeben, welcher diejenigen Stellen umfaßt, an welchen nur ein Theil der Sonnenscheibe sichtbar ist, an welchen

Fig. 120.



also weder vollkommener Ausschluß der Sonnenstrahlen, noch eine volle Erleuchtung stattfindet.

Die Länge des Kernschattens beträgt ungefähr 216 Erdhalbmesser; sie wird größer, wenn die Erde im Aphelium, kleiner, wenn sie im Perihelium sich befindet.

Durch diesen Schatten geht nun der Mond von Zeit zu Zeit hindurch, und erscheint uns dann verfinstert. Solche Mondfinsternisse können natürlich nur stattfinden, wenn ☽ ☌ ☉, also zur Zeit des Vollmondes.

Daß aber nicht bei jedem Vollmond eine Mondfinsterniß eintritt, ist leicht einzusehen. Der Mond ist 60 Erdhalbmesser von der Erde entfernt; in dieser Entfernung aber ist der Durchmesser des Kernschattens gleich 0,72 Erddurchmessern oder gleich 2,9 Monddurchmessern. Von der Erde aus gesehen, erscheint also der Halbmesser des Kernschattens an jener Stelle unter einem Winkel von ungefähr 44 Minuten.

Der Mittelpunkt des Erdschattens befindet sich natürlich stets auf der Ekliptik, und zwar der Sonne diametral gegenüberstehend. Wenn sich also der Mondrand zur Zeit des Vollmondes der Ekliptik wenigstens bis auf 44 Minuten genähert hat, so tritt er in den Erdschatten ein; wenn aber, wie dies meistens und auch in dem Fig. 121 dargestellten Stück der Mondsbahn der Fall ist, zur Zeit der Opposition (also des Vollmondes) der Mond weiter von der Ekliptik entfernt ist, so geht er entweder über oder unter dem Erdschatten vorüber, und es findet alsdann keine Mondfinsterniß Statt.

Das Wesen der Mondfinsternisse wird wohl am besten durch die Betrachtung einzelner Fälle erläutert.

Zur Construction des Verlaufs der Mondfinsterniß, welche sich am 1. Mai 1855 ereignete, findet man im Berliner astronomischen Jahrbuche folgende Data:

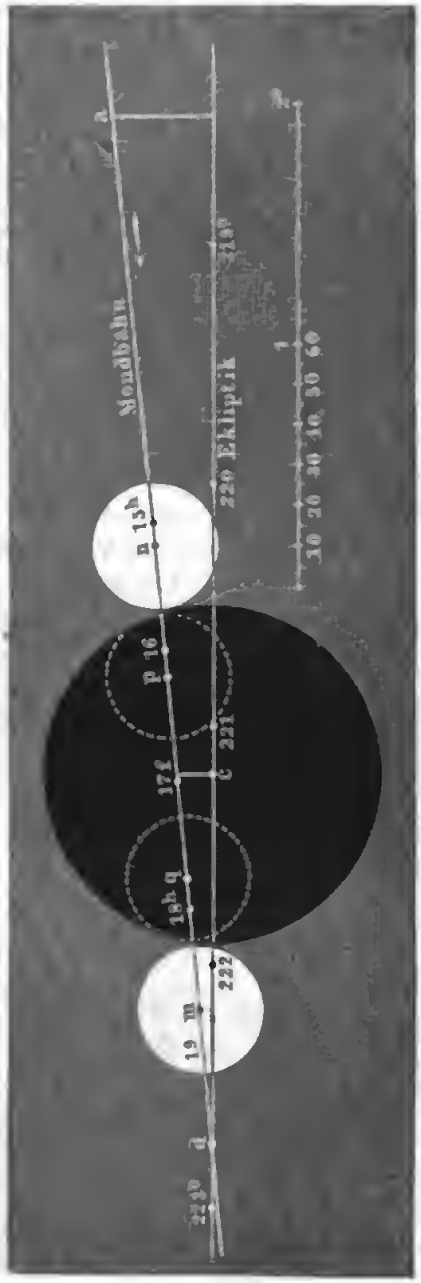
die Breite ☽ am 1. Mai 1855 12^h gleich $+ 0^\circ 24' 21''$,
die Breite ☽ am 1. Mai 1855 24^h gleich $- 0^\circ 12' 19''$.

Aus diesen Angaben läßt sich leicht berechnen, daß der Mittelpunkt des Mondes die Ekliptik am 1. Mai $19^h 42'$ oder nach bürgerlicher Zeit am 2. Mai Morgens $7^h 42'$ passirte.

Es war die Länge ☽ am 1. Mai 1855 $12^h = 218^\circ 27' 7''$,
ferner war die Länge ☽ am 1. Mai 1855 $24^h = 225^\circ 4' 20''$.
Daraus berechnet man dann, daß die Länge des Mondmittelpunktes um

Fig. 121.

Fig. 122.



19^h 42′ gleich ſein wird 222° 42′; es iſt dies die Länge des niederſteigenden Mondknotens.

Fig. 122 (a. v. S.) ſtellt ein Stück der Ekliptik, und zwar ungefähr vom 218. bis 223. Längengrade dar. Jeder Grad iſt einen Pariſer Zoll lang aufgetragen, eine Länge von einer Pariſer Linie ſtellt alſo 5 Bogenminuten dar; d iſt der Knotenpunkt, deſſen Lage oben ermittelt wurde, und a iſt der Punkt, an welchem nach obigen Angaben der Mittelpunkt des Mondes am 1. Mai um 12^h ſtand; da iſt alſo ein Stück der Mondsbahn.

Der Moment des Vollmondes, d. h. der Augenblick, in welchem die Länge des Mondes gerade um 180° von der Länge der Sonne differirte, war dem aſtronomiſchen Jahrbuche zufolge um 16^h 56,7′. Man findet leicht, daß in dieſem Moment der Mittelpunkt des Mondes in einem Punkte f ſtand, deſſen Länge 221° 21′ war.

Dies iſt aber auch die Länge des Punktes c, welchen in demſelben Moment der Mittelpunkt des Erdſchattens einnahm. In unſerer Figur iſt dieſer Erdſchatten als ein vollkommen ſchwarzer Kreis dargeſtellt, deſſen Radius beinahe 9 Pariſer Linien iſt, da ja der Halbmeſſer des Erdſchattens an der fraglichen Stelle 44′ beträgt und eine Winkelgröße von 5′ in unſerer Figur als eine Pariſer Linie aufgetragen iſt.

Es iſt hier für den Halbmeſſer des Erdſchattens an der fraglichen Stelle der Mittelwerth von 44′ genommen worden. Wenn die Conſtruction ganz genaue Reſultate geben ſollte, ſo dürfte man ſich mit dieſem Mittelwerthe nicht begnügen, ſondern man müßte ihn aus der Entfernung, in welcher ſich zur Zeit der Finſterniß Sonne und Mond gerade befinden, erſt berechnen. Die Elemente zu einer ſolchen Berechnung finden ſich in den aſtronomiſchen Jahrbüchern.

Der Erdſchatten ſteht aber nicht ſtill, er ſchreitet in einer Stunde um 2′ 25″ von Weſt nach Oſt, alſo in unſerer Figur von der Rechten zur Linken fort. In einer Stunde bewegt ſich aber der Mond in gleicher Richtung um 33′ 4″ vorwärts; wir können alſo, da es ſich nur um die relative Bewegung des Mondes und des Erdſchattens handelt, annehmen, daß der Erdſchatten ſtillſtände und daß der Mond in einer Stunde nur um 30′ 39″ nach Oſten hin fortſchritte.

In f ſtand der Mittelpunkt des Mondes um 16^h 57′, um 17 Uhr ſtand er alſo noch um 1,5 Bogenminuten öſtlicher, alſo in dem mit 17 bezeichneten Punkte. Mißt man nun auf der Mondsbahn von dem Punkte 17 aus die Länge von 30,65′ nach beiden Seiten hin ab, ſo findet man die mit 15, 16, 18 und 19 bezeichneten Punkte, in welchen ſich der Mondmittelpunkt um 15′, 16, 18 und 19 Uhr befand, wenn wir nur ſeine relative Bewegung zum Erdſchatten betrachten.

Der ſcheinbare Halbmeſſer des Mondes zur Zeit dieſer Finſterniß war 15,5′, und mit dieſem Halbmeſſer ſind die Kreiſe um die Punkte n, p, q und m gezogen.

Die Punkte m und n ſtehen von c um die Summe der Halbmeſſer des Erdſchattens und des Mondes ab, folglich wird ein mit dem Radius 15,5′ um

n oder *m* gezogener Kreis den Erdſchatten gerade berühren. Als der Mittelpunkt des Mondes in *n* ſtand, begann alſo der Mond eben in den Kernſchatten der Erde einzutreten. Wie man aus der Figur 122 leicht erſehen kann, erfolgte dieſer Eintritt ungefähr um $15^h\ 8'$, da der Abſtand von *n* bis zu dem mit 15^h bezeichneten Punkte einem Zeitintervall von 8 Minuten entſpricht.

Der Mond trat eben aus dem Erdſchatten vollſtändig aus, die Finſterniß war zu Ende, als der Mittelpunkt des Mondes in *m* anlangte, was um $18^h\ 49'$ der Fall war.

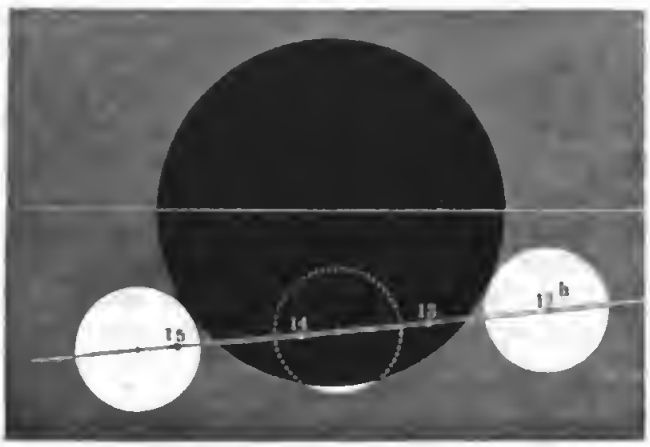
Die Punkte *p* und *q* ſind von *c* um die Differenz des Halbmeſſers des Erdſchattens und des Mondes entfernt; wenn alſo der Mittelpunkt des Mondes in *p* oder in *q* ſteht, ſo wird der Mondrand die Gränze des Kernſchattens gerade von innen berühren. In dem Augenblicke alſo, in welchem der Mittelpunkt des Mondes in *p* anlangte, war der Mond vollſtändig in den Erdſchatten eingetreten; es war dies der Anfang der totalen Finſterniß, welcher um $16^h\ 10'$ ſtattfand, da 10 Minuten nöthig waren, damit der Mond von dem mit 16 bezeichneten Punkte nach *p* gelangte.

Die totale Finſterniß erreichte ihr Ende, als der Mittelpunkt des Mondes in *q* anlangte, um $17^h\ 47'$.

Da der Mond an jenem Tage für Berlin bereits um $16^h\ 32'$ unterging, ſo konnte man daſelbſt, ſowie in ganz Europa, nur den Anfang, nicht das Ende jener Finſterniß ſehen.

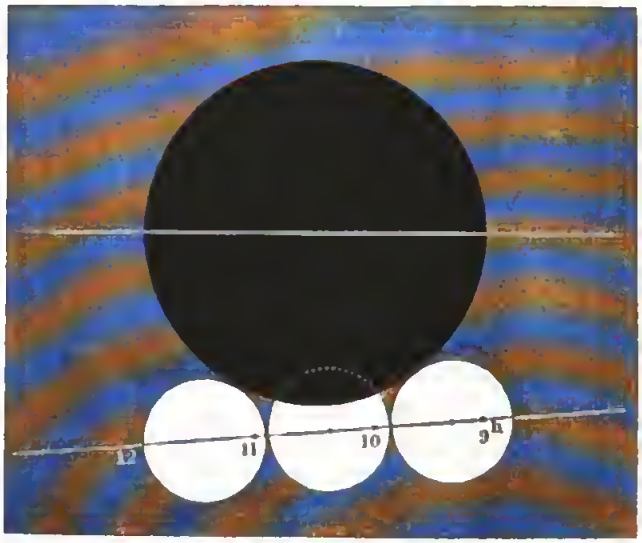
Wenn der Mond in dem Moment der Oppoſition noch weiter von ſeinem auf- oder niederſteigenden Knoten entfernt iſt, als in dem eben betrachteten Falle, ſo kann die Mondſcheibe nicht mehr vollſtändig in den Erdſchatten eintreten, die Finſterniß iſt dann nur eine partiale. Die Figuren 123 und 124 ſtellen den Verlauf der partialen Mondfinſterniſſe vom 13. November 1845 und vom 31. März 1847 dar.

Fig. 123.



Um die Größe einer Mondfinſterniß zu beſtimmen, d. h. um anzugeben, der wievielſte Theil der Mondſcheibe verfinſtert iſt, denkt man ſich den Durchmeſſer des Mondes, deſſen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Erdſchattens geht, in 12 gleiche Theile getheilt, welche man Zolle nennt, und giebt dann

Fig. 124.



an, wie viele dieſer Zolle verfinſtert ſind. So betrug das Maximum der Verfinſterung am 13. November 1845 zwiſchen 10 und 11 Zoll, am 31. März 1847 nur etwas über 3 Zoll.

Die zunächſt bei uns ſichtbare Mondfinſterniß iſt die vom 5. December 1862. Um $18^h\ 38'$ mittlere Berliner Zeit (6. December Morgens $6^h\ 38'$) beginnt der Mond in den Kernſchatten der Erde einzutreten. Der Anfang der totalen Verfinſterung iſt 7 Uhr 47 Minuten mittlerer Berliner Zeit. Kurze Zeit nach dem Eintritt der totalen Finſterniß geht der Mond für Deutſchland ſchon unter, ſo daß wir das Ende dieſer Finſterniß nicht beobachten können.

Die Gränze des Erdſchattens erſcheint auf dem Monde ſtets als Kreisbogen; er iſt aber nie vollkommen ſcharf begränzt, weil eben der Uebergang aus dem Kernſchatten in den Halbſchatten ein allmäliger iſt.

Anfangs, wenn eben der Mond in den Erdſchatten einzutreten beginnt, erſcheint der verfinſterte Theil des Mondes von grauer Farbe und alle Flecken verſchwinden. Wenn ſich aber der Mond mehr und mehr in den Erdſchatten einſenkt, geht dieſes Grau in Roth über und dabei werden die Flecken wieder ſichtbar, ſo daß, wenn die totale Finſterniß eingetreten iſt, nun die ganze Mondſcheibe eine eigenthümlich dunkelrothe Färbung zeigt, in welcher ſich Einzelnheiten auf der Mondoberfläche wieder unterſcheiden laſſen. In ſehr ausgezeichneter Weiſe war dieſe rothe Färbung der verfinſterten Mondſcheibe auch bei der nicht ganz totalen Mondfinſterniß vom 13. October 1856 wahrnehmbar.

Fig. 1 auf Tab. XI a. ist eine möglichst treue Darstellung jener interessanten Erscheinung.

Das rothe Licht des Mondes während einer totalen oder nahe totalen Verfinsterung rührt offenbar von dem zerstreuten Lichte her, welches die erleuchtete Erdatmosphäre noch in den Erdschatten hineinsendet.

Fig. 125.

Sonnenfinsternisse sind Erscheinungen, welche ei- 73
nerseits den Sternbedeckungen durch den Mond, andererseits den Durchgang der unteren Planeten vor der Sonnenscheibe analog sind; sie treten ein, wenn die Erde durch den Schatten des Mondes hindurchgeht, können also nur zur Zeit des Neumondes stattfinden.

So wenig jeder Vollmond eine Mondfinsterniß bringt, so wenig ereignet sich auch bei jedem Neumond eine Sonnenfinsterniß, weil sich der Mond so weit von der Ekliptik entfernt, daß sein Schatten meist über oder unter der Erde vorbeistreicht, ohne sie zu treffen. Eine Sonnenfinsterniß kann nur dann stattfinden, wenn der Mond zur Zeit seiner Conjunction mit der Sonne ganz in der Nähe der Ekliptik steht.

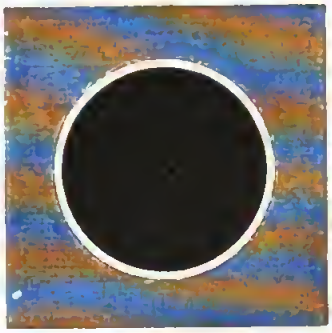
Im Mittel ist der scheinbare Durchmesser des Mondes 31,5, der der Sonne 32 Minuten, die Spitze des Kernschattens reicht demnach nicht immer bis auf die Erde. Wenn aber die Sonne in ihrer Erdferne, der Mond gerade in seiner Erdnähe ist, so ist der scheinbare Durchmesser der Sonne 31,5, der des Mondes 34 Minuten, und in diesem Falle ist der Kernschatten des Mondes länger als der Abstand der Erde von demselben; der Kernschatten trifft also noch auf die Erdoberfläche, wie dies auch in der schematischen Fig. 125 der Fall ist, in welcher S die Sonne, L den Mond und T die Erde darstellt.

An den gerade vom Kernschatten des Mondes getroffenen Stellen der Erde ist die Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt, es findet eine totale Sonnenfinsterniß an diesen Orten Statt.

Für denjenigen Ort der Erde, von welchem aus gesehen die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes sich decken, ist die Finsterniß eine centrale; natürlich kann sie nur für einen Augenblick central sein. Die centrale Finsterniß ist zugleich eine ringförmige, wenn gerade der scheinbare Durchmesser des Mondes kleiner ist als der scheinbare Durchmesser der Sonne.

Fig. 126 stellt die ringförmige Sonnenfinsterniß vom 15. März 1858 dar, wie sie z. B. in Oxford erschien.

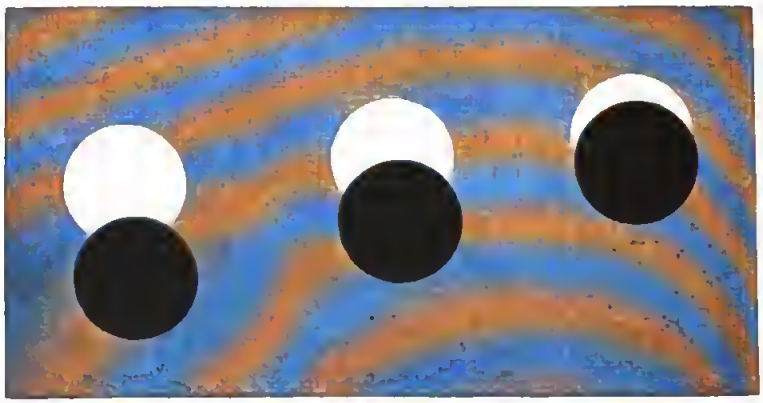
Fig. 126.



Der Kernschatten des Mondes ist von einem Halbschatten umgeben, dessen Durchmesser mit der Entfernung vom Monde zunimmt, wie die Figur 125 zeigt. An der Stelle, an welcher die Erde in denselben eintreten kann, ist der Durchmesser seines Querschnittes ungefähr dem Halbmesser der Erde gleich; er ist kleiner, wenn der Kernschatten des Mondes die Erde noch trifft, größer, wenn dies nicht mehr der Fall ist. An solchen Orten der Erdoberfläche, welche gerade in dem Halbschatten des Mondes liegen, erscheint nur ein Theil der Sonnenscheibe durch den Mond verdeckt; in solchen Fällen ist die Sonnenfinsterniß eine partiale.

Um die Größe der Bedeckung bei einer partialen Finsterniß anzugeben, denkt man sich den Durchmesser der Sonne, welcher in die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Sonnen- und Mondscheibe fällt, in 12 gleiche Theile (Zolle) getheilt und giebt dann an, wie viele Zolle verdeckt sind. So zeigt Fig. 127

Fig. 127.



eine Verfinsterung von 3, eine solche von 6 und endlich eine solche von 9 Zoll.

Eine Mondfinsterniß bietet auf der ganzen Erdhälfte, für welche sich der in den Erdschatten eingetauchte Mond über dem Horizont befindet, ganz den gleichen Anblick dar. Der Moment, in welchem man den Mond gerade in den Erdschatten eintreten sieht, ist derselbe für alle Orte der Erde, an denen überhaupt das Phänomen sichtbar ist. Ebenso sehen die Beobachter der verschiedensten Gegenden den Mond in demselben Moment wieder aus dem Schatten hervortreten. Ganz anders verhält es sich bei Sonnenfinsternissen. Während an einem Orte eine totale Sonnenfinsterniß stattfindet, beobachtet man in benachbarten Gegenden nur eine partiale, in entfernteren gar keine Sonnenfinsterniß;

ebenſo ſind die Zeitpunkte, in welchen die Sonnenfinſterniß beginnt und endet, für verſchiedene Orte auf der Erde nicht dieſelben.

Die eben angedeuteten Verhältniſſe werden am beſten erläutert, wenn wir den Vorgang irgend einer ſpeciellen Sonnenfinſterniß näher betrachten, und beſonders, wenn wir unterſuchen, welches der Verlauf der Erſcheinung, vom Mond aus betrachtet, ſein wird.

Am 4. April 1856 fand eine in Auſtralien ſichtbare Sonnenfinſterniß ſtatt. Dem Berliner aſtronomiſchen Jahrbuche zufolge war der Moment der Conjunction von Sonne und Mond am 4. April $18^h\ 43'\ 35''$ Berliner Zeit. In dieſem Augenblick war die geometriſche Länge der Sonne und des Mondes (nämlich des Mittelpunktes beider Himmelskörper) $15^0\ 38'\ 21''$. Die heliocentriſche Länge des Mittelpunktes der Erde ſowohl wie des auf die Erde fallenden Mondſchattens war demnach in dem fraglichen Momente $195^0\ 38'\ 21''$; die gleichzeitige ſüdliche Breite des Schattenmittelpunktes war $48'\ 24{,}6''$.

In Fig 5 auf Tab. X., welche nach demſelben Maßſtabe gezeichnet iſt, wie die Figuren 122 bis 124, ſtellt AB ein Stück der Ekliptik, C den Mittelpunkt der Erde und m den Mittelpunkt des Mondſchattens für den Moment der Conjunction dar. Zur Zeit jener Finſterniß war dem aſtronomiſchen Jahrbuche zufolge die Horizontalparallaxe des Mondes gleich $61'\ 9{,}6''$, ein mit dem Halbmeſſer $61{,}1'$ um den Mittelpunkt C beſchriebener Kreis ſtellt alſo den Umfang der vom Monde aus betrachteten Erdkugel dar, wenn die weißen Kreiſe in den Figuren 122 bis 124 den Mond darſtellen, wie wir ihn von der Erde aus ſehen.

Die Figur zeigt uns nun die Erdhälfte, welche im Moment der fraglichen Conjunction gerade der Sonne zugewandt war. Der Kernſchatten des Mondes fiel in dieſem Augenblick auf die ſüdweſtliche Spitze von Neuholland; hier, innerhalb des kleinen ſchwarzen Kreiſes, fand eben eine totale Sonnenfinſterniß Statt.

Dieſer Kernſchatten war aber von einem Halbſchatten umgeben, welcher den größten Theil von Neuholland bedeckte und ſich nördlich bis zur Inſel Java erſtreckte. An allen Orten, welche innerhalb dieſes Halbſchattens lagen, fand eine partiale Sonnenfinſterniß Statt, und zwar war der von dem Monde bedeckte Theil der Sonnenſcheibe um ſo kleiner, je weiter man von dem Kernſchatten entfernt war. Ueber die Gränze des Halbſchattens hinaus, alſo in ganz Aſien und Afrika, fand keine Bedeckung der Sonnenſcheibe Statt.

Unſere Figur ſtellt den auf die Erde fallenden Mondſchatten nur für einen beſtimmten Moment dar; vor und nach dieſem Zeitpunkte aber mußte der Schatten auf andere Gegenden fallen, wie man leicht erſehen kann, da der Mittelpunkt des Mondſchattens in der Richtung der Linie DF fortſchritt, während gleichzeitig die Erde in der Richtung des kleinen am Aequator gezeichneten Pfeiles um ihre Axe rotirte. Auf der Linie DF ſind die Punkte bezeichnet, in denen ſich der Mittelpunkt des Mondſchattens um 16^h, 17^h u. ſ. w. bis 21^h (Berliner Zeit) befand. Der Mondſchatten traf die Erde zuerſt, als der Mittelpunkt deſſelben ſich in a befand, um $16^h\ 36'$ Berliner Zeit, alſo zu

einer Zeit, in welcher ungefähr der 131. Längengrad (etwas öſtlich von der Oſtküſte Chinas) in der Mitte der erleuchteten Erdhälfte lag, und für die Stelle, wo der Erdäquator die Oſtküſten Afrikas ſchneidet, die Sonne eben aufging. Das Ende der Finſterniß fand ſtatt, als der Mittelpunkt des Mondſchattens in *b* angelangt war, was um $21^h\ 8'$ Berliner Zeit ſtatt fand, bis zu welchem Zeitpunkt ſich dann die Erde ſo weit um ihre Axe gedreht hatte, daß nun die Sonne auf dem 74. Längengrade öſtlich von Ferro culminirte, alſo der Eingang des perſiſchen Meerbuſens, das Uralgebirge und Nowaja-Semlia Mittag hatten und die Sonne für den öſtlichen Theil von Neu-Guinea und Neuholland bereits untergegangen war.

Ohne auf eine genauere Beſtimmung der Gränzen einzugehen, innerhalb welcher die Finſterniß vom 4. April 1856 ſichtbar war, iſt aber doch aus dem bisher Geſagten mit Hülfe der Figur 5 auf Tab. X. klar, daß die fragliche Sonnenfinſterniß überhaupt in Neuholland und den nördlich und öſtlich davon gelegenen Inſeln ſichtbar war, daß aber die Linie der centralen Verfinſterung Neuholland durchſchnitt.

Da der Mondſchatten auf der Erde von Weſten nach Oſten fortſchreitet, ſo iſt klar, daß wir den Mond auf der Weſtſeite der Sonnenſcheibe ein-, auf der Oſtſeite derſelben austreten ſehen.

Der Weg, welchen der Kernſchatten des Mondes bei der Sonnenfinſterniß vom 31. December 1861 beſchreiben wird, geht vom Weſtende der Inſel Cuba über Trinidad nach den Inſeln des grünen Vorgebirges, weſtlich von Tripoli vorbei bis nach Morea. Der Streifen, innerhalb deſſen dieſe Finſterniß eine totale ſein wird, hat nur eine Breite von $^3/_4$ geographiſchen Meilen.

Die folgende kleine Tabelle giebt die Zeit des Anfangs und des Endes der Finſterniß für einige Orte, ſowie auch die Größe der Verfinſterung in Zollen. Die Zeit iſt überall die wahre eines jeden Ortes.

An den vier erſten Orten dieſer Tabelle geht die Sonne verfinſtert unter, am letztgenannten geht ſie verfinſtert auf.

	Anfang.	Ende.	Größe in Zollen.
Chriſtiania	$2^h\ 35'$		5,1
Berlin	2 50		6,8
Genf	2 18		7,4
Neapel	2 58		10,0
Dublin	1 18	$3^h\ 12'$	4,5
Paris	1 59	4 4	6,4
Waſhington		20 32	5,7

Wo eine Sonnenfinſterniß wirklich total wird, entſteht eine ganz eigenthümliche Dunkelheit, der Himmel erſcheint grau und man erblickt einzelne der helleren Sterne. Die ſchwarze Mondſcheibe iſt von einer wallenden breiten Lichtung umgeben, von welcher aus ſich gelbliche Strahlen verbreiten.

Totale Sonnenfinſterniſſe machen auf die ganze Thierwelt einen merkwürdigen Eindruck; Vögel fliegen wie verſcheucht umher, Hunde heulen, Pferde und andere Thiere zeigen eine unruhige Aengſtlichkeit; kein Wunder alſo, wenn dieſe an einem beſtimmten Orte der Erde doch nur höchſt ſelten eintretende Erſcheinung auch ungebildete und abergläubiſche Menſchen in Furcht und Schrecken verſetzt.

Die eigenthümliche Erſcheinung des Strahlenkranzes, welche man während einer totalen Sonnenfinſterniß wahrnimmt, iſt bereits am Schluſſe des dritten Capitels beſprochen worden.

Für ein eingehenderes Studium der Sonnen- und Mondfinſterniſſe iſt ein von Dr. A. Drechsler im Jahre 1858 zu Dresden über dieſen Gegenſtand erſchienenes Werkchen zu empfehlen.

Axendrehung des Mondes. Schon mit bloßem Auge unterſcheidet man auf der Mondſcheibe Flecken, welche dem Monde eine beſtimmte Zeichnung geben. Dieſe Zeichnung bleibt nun ſtets unverändert, d. h. die einzelnen Flecken behalten ihre Stellung auf der Mondoberfläche, geringe Schwankungen abgerechnet, unverändert bei; ein Flecken, welcher einmal in der Mitte der Scheibe liegt, wird uns immer an dieſer Stelle erſcheinen, er rückt nie an den Rand; beſtimmte Flecken werden immer am weſtlichen, andere werden ſtets am öſtlichen Rande bleiben: kurz, der Mond wendet uns immer dieſelbe Seite zu. 74

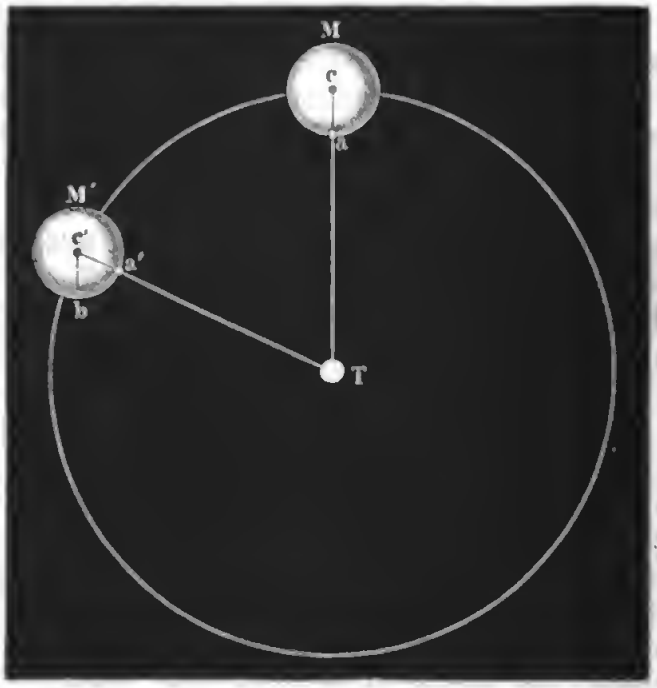
Es kommt uns alſo nur die eine Hälfte der Mondoberfläche zu Geſicht, die andere Hälfte bleibt uns ſtets unſichtbar.

Nach dieſer Beobachtung läßt es ſich nun leicht ausmitteln, wie es ſich mit der Axendrehung des Mondes verhält. In Fig. 128 (a. f. S.) ſei T die Erde, M die Stellung des Mondes in irgend einem beliebigen Augenblick. Wenn nun der Punkt a derjenige iſt, welcher, von der Erde aus geſehen, gerade die Mitte der Mondſcheibe bildet, ſo muß dieſer Punkt in die Stellung a' kommen, während der Mond von M bis M' in ſeiner Bahn fortſchreitet, wenn ſtets derſelbe Punkt die Mitte der von der Erde ſichtbaren Mondhälfte bilden ſoll.

Fände während der fortſchreitenden Bewegung des Mondes gar keine Axendrehung deſſelben Statt, ſo müßte der Punkt a an die Stelle b gelangen, während der Mond von M bis M' fortſchreitet, ſo daß derſelbe Mondhalbmeſſer, welcher vorher die Lage ca hatte, nun die parallele Richtung $c'b$ einnähme. Wir haben aber geſehen, daß der fragliche Radius jetzt, wo der Mond in M' angekommen iſt, die Lage $c'a'$ haben muß; während alſo der Mond von M nach M' fortgeſchritten iſt, hat er ſich um den Winkel $bc'a'$ gedreht, welcher offenbar dem Winkel cTc' gleich iſt.

Aus der Thatſache, daß der Mond der Erde ſtets dieſelbe Seite zuwendet, ergiebt ſich alſo, daß er eine Axendrehung hat und daß er die Umdrehung um

Fig. 128.



ſeine Axe in derſelben Zeit vollendet, in welcher er ſeine Bahn um die Erde zurücklegt, die Rotationsdauer des Mondes iſt alſo ſeiner ſideriſchen Revolution gleich.

Dieſer langſamen Axendrehung entſprechend hat der Mond keine irgend wahrnehmbare Abplattung.

75 **Libration des Mondes.** Obgleich uns im Weſentlichen ſtets dieſelbe Mondhälfte zugekehrt iſt, ſo finden doch kleine Schwankungen in der Stellung der Mondoberfläche gegen die Erde Statt; bald ſehen wir etwas weiter auf die Weſtſeite, dann wieder etwas mehr auf die Oſtſeite der Mondkugel; bald iſt uns der Nordpol des Mondes und dann wieder der Südpol deſſelben etwas mehr zugewandt; kurz der größte Kreis, welcher die uns ſichtbare Mondhälfte begränzt, hat auf der Mondkugel keine abſolut feſte Lage, ſondern er wird ſowohl in der Richtung von Oſt nach Weſt, als auch in der Richtung von Nord nach Süd etwas hin und her geſchoben. Man bezeichnet dieſe Erſcheinung mit dem Namen der Libration.

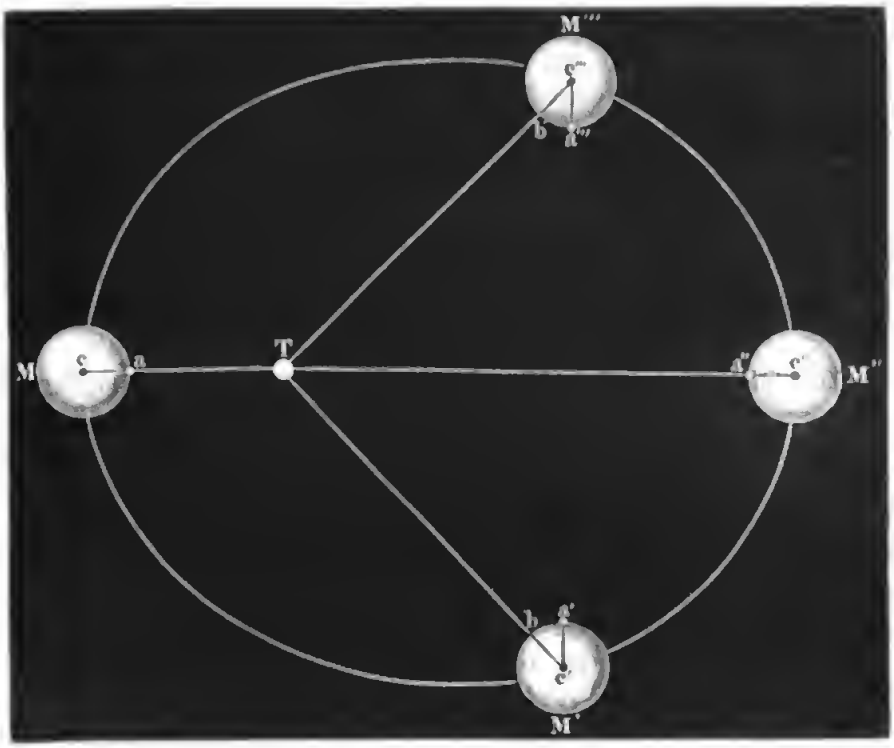
Inſofern die erwähnte Schwankung in der Ebene des Mondäquators ſtattfindet, ſo daß alle Längenkreiſe des Mondes für den Beſchauer auf der Erde bald etwas mehr nach Oſten, dann wieder etwas mehr nach Weſten gedreht erſcheinen, nennt man ſie Libration der Länge, während die recht-

winklig zum Mondäquator ſtattfindenden ſcheinbaren Schwankungen Libration der Breite genannt werden.

Die Libration der Länge rührt daher, daß der Mond ſich in einer Ellipſe um die Erde bewegt, während ſeine Axendrehung ſtets mit gleichförmiger Geſchwindigkeit vor ſich geht.

Fig. 129 ſtelle die elliptiſche Mondbahn dar, in deren einem Brennpunkte

Fig. 129.



T die Erde ſteht. Zur Zeit des Perigäums ſteht der Mond in M, und a iſt der Punkt, welcher, von der Erde aus geſehen, gerade die Mitte der Mondſcheibe einnimmt. Nachdem nun der vierte Theil der ganzen Umlaufszeit verfloſſen iſt, befindet ſich der Mond in M'; er hat aber unterdeſſen eine Drehung von 90° um ſeine Axe gemacht, der Mondhalbmeſſer, welcher vorher die Lage ca hatte, wird ſich alſo jetzt in der Lage $c'a'$ befinden; dieſer Radius iſt aber jetzt nicht mehr derjenige, deſſen Verlängerung gerade zur Erde hinführt, ſondern b iſt der Punkt, welcher, von der Erde aus geſehen, die Mitte der Mondſcheibe einnimmt, die Mondoberfläche erſcheint alſo gegen die Erde um den Winkel $bc'a'$ nach Oſten gedreht.

Iſt der Mond im Apogäum, alſo in M'', angelangt, ſo iſt, von dem Moment des Perigäums aus gerechnet, die Hälfte ſeiner ganzen Umlaufszeit verfloſſen; in dieſer Zeit hat er aber eine Drehung von 180° um ſeine Axe gemacht, der Punkt a nimmt alſo wieder die Mitte der Mondſcheibe ein, während

derſelbe Punkt ſich in a''' befindet, alſo um den Winkel $b' c''' a'''$ nach Weſten gedreht erſcheint, wenn der Mond nach M''' gelangt iſt.

Die Libration der Länge (alſo der Winkel $bc' a'$ oder $b' c''' a'''$) kann bis zu $7^{\circ} 53'$ auf jeder Seite wachſen.

Wäre die Mondaxe genau rechtwinklig zur Mondbahn, ſo würden wir nur die Libration der Länge wahrnehmen; nun aber macht der Mondäquator mit der Ebene der Mondbahn einen Winkel, welcher im Mittel $6^{\circ} 38'$ beträgt, und ſo kommt es, daß die Mondpole nicht — wie es bei ſtreng ſenkrechter Lage ſeiner Axe ſein würde — im Rande erſcheinen, ſondern uns abwechſelnd etwas zu- und abgewandt ſind. Iſt uns der Nordpol des Mondes zugewandt, ſo werden alle Flecken mehr nach Süden rücken; mehr nach Norden aber, wenn gerade der Südpol uns zugekehrt iſt, und ſo iſt alſo die Libration der Breite, welche im Maximo $6^{\circ} 47'$ beträgt, eine Folge von der ſchiefen Stellung der Mondaxe gegen ſeine Bahn.

Es iſt klar, daß die Anſicht der Mondſcheibe, von verſchiedenen Orten der Erde aus geſehen, nicht genau dieſelbe iſt; die aus dieſer Urſache ſtammenden Variationen werden *parallaktiſche Libration* genannt.

76 **Die Oberfläche des Mondes.** Mit unbewaffnetem Auge oder auch durch ein ganz ſchwach vergrößerndes Fernrohr betrachtet, erſcheint der Vollmond als eine weiße Scheibe, welche mit mehreren grauen Flecken bedeckt iſt; man hielt früher dieſe dunkleren Stellen für Meere, die helleren für Land, und obgleich man ſich ſpäter davon überzeugte, daß auf dem Monde keine Meere ſind, ſo haben dieſe dunklen Partien doch ihre alten Namen beibehalten, und ſo findet man denn auf den Mondkarten noch immer ein Mare humorum, ein Mare nubium u. ſ. w. Auf unſerer Mondkarte, Tab. XI., ſind bezeichnet:

Mare nubium	mit a,	Mare tranquillum	mit e,
Mare humorum	» b,	Mare crisium	» f,
Mare imbrium	» c,	Mare foecunditatis	» g,
Mare serenitatis	» d,	Mare nectaris	» h.

Wenn man den Mond durch ein Fernrohr betrachtet, ſo beobachtet man unverkennbare Erhöhungen und Vertiefungen, kurz *Berge*, welche jedoch nur an ſolchen Stellen deutlich unterſchieden werden können, welche an der Gränze der Lichtphaſen liegen, alſo nur in denjenigen Mondgegenden, für welche die Sonne eben auf- oder untergeht. Die Gebirge werfen dann mehr oder minder lange Schatten, deren ſchwarze, oft haarſcharf endende Geſtalten einen überaus ſchönen Anblick gewähren, wie dies die beiden unteren Figuren auf Tab. XI a anſchaulich machen ſollen, welche, wie auch zum Theil die folgenden Schilderungen, einem Werk von *Julius Schmidt* über den Mond entnommen, zwei gerade an der Gränze der Erleuchtung liegende Mondlandſchaften darſtellen. Die tiefen Krater und Ringgebirge ſind noch von Nacht erfüllt; rings umglänzt ſie als ſchmaler Goldſaum der höchſte Kamm des ſchon erleuchteten Walles und oft ragt ſternähnlich der Gipfel eines Centralberges aus der Finſterniß der Tiefe empor, den eben erſt das Licht der Sonne getroffen hat. Mit dem Steigen der Sonne verändert

ſich die Scene; die Schatten werden kürzer und mit dem Verſchwinden der letzten Schattenſpur verliert ſich die Schärfe der Umriſſe, ſo daß bei voller Beleuchtung alle die Einzelnheiten verſchwinden, welche man an der Gränze zwiſchen der erleuchteten und der dunklen Hälfte wahrgenommen hatte. — Der Vollmond zeigt nur Differenzen des Lichts und der Farbe. Den Haupteindruck gewähren die dunklen Flächen, welche ſchon dem unbewaffneten Auge ſichtbar ſind und in welchen ſich, von einzelnen Bergen ausgehend, ſchmale Lichtſtreifen verbreiten. Aber das unendliche Detail von Bergen, Hügeln und kleinen Kratern, welches zur Zeit der Phaſen den Beobachter in Erſtaunen ſetzte, iſt auf dem Vollmond ſpurlos verſchwunden.

Hevel hatte den Mondbergen die Namen irdiſcher Gebirge beigelegt, während Riccioli es vorzog, die Nomenclatur Hevels zu verlaſſen, indem er die Mondberge nach berühmten Männern und namentlich nach Aſtronomen benannte. Dieſe Bezeichnung iſt bis jetzt allgemein in Gebrauch geblieben und ſo finden wir denn auf unſeren Mondkarten einen Archimedes, einen Kepler, Tycho, Manilius, Galilâi u. ſ. w., während nur einige Bergketten die Namen irdiſcher Gebirge behalten haben.

Wendet man das Fernrohr auf eine gerade gut beleuchtete Gebirgslandſchaft des Mondes, ſo fällt ſelbſt dem ungeübteſten Beobachter das Vorherrſchen kreisförmiger Gebilde auf, welche ſich in tauſenden von Beiſpielen in größerem und kleinerem Maßſtabe wiederholen und mit dem gemeinſchaftlichen Namen der Ringgebirge bezeichnet werden. In unſerer Mondkarte Tab. XI. ſind dieſe ringförmigen Bildungen deutlich zu erkennen, der Maßſtab derſelben iſt der Art, daß 10 Meilen auf der Karte eine Länge von 3,8 Millimeter einnehmen, 1 Meile alſo nahezu durch eine Länge von 0,4 Millimeter dargeſtellt wird. Die ausgezeichnetſten Ringgebirge ſind auf Tab. XI. mit Ziffern bezeichnet, denen folgende Namen entſprechen:

1. Archimedes,	8. Purbach,	15. Galilâi,
2. Plato,	9. Regiomontan,	16. Grimaldi,
3. Copernicus,	10. Ptolemäus,	17. Ariſtarch,
4. Kepler,	11. Apian,	18. Autolicus,
5. Gaſſendi,	12. Fraseator,	19. Ariſtippus,
6. Tycho,	13. Plinius,	20. Eratoſthenes,
7. Arzach,	14. Manilius,	21. Ariſtoteles.

Die ſchon erwähnten Mondlandſchaften auf Tab. XIa, ſtellen die entſprechenden Gegenden dar, wie ſie bei günſtigſter Beobachtung durch ſtark vergrößernde Fernrohre geſehen werden; ſie ſollen dazu dienen, den Charakter der Gebirgsbildungen auf dem Monde zu erläutern und zwar bietet die Landſchaft links ein Beiſpiel von Kettengebirgen, während in der Landſchaft rechts kraterartige Bildungen entſchieden vorherrſchend ſind.

Die größeren Ringgebirge, deren Durchmeſſer oft über 30 Meilen beträgt, nennt man Wallebenen. Es ſind dies größere, nahezu ebene Regionen, welche von einem ſich mehr oder weniger der Kreisgeſtalt nähernden Gebirgswall um-

ſchloſſen ſind. Dieſer Gebirgswall erſcheint aber vielfach zerklüftet und durch kleinere Krater unterbrochen, wie denn auch im Innern dieſer Wallebenen Hügel und kleine Krater auftreten.

Clavius und Maginus, welche auf Tab. Xa in der Figur unten rechts mit 1 und 2 bezeichnet ſind, können als charakteriſtiſche Beiſpiele ſolcher Wallebenen dienen.

An dieſe Wallebenen ſchließen ſich in Betreff der Größenverhältniſſe zunächſt die großen Krater von 5 bis 12 Meilen Durchmeſſer an, welche ſich durch eine größere Annäherung an die Kreisform und namentlich durch eine bedeutende Vertiefung des Beckens, welche ſie mit den kleineren Kratern gemein haben, vor den Wallebenen auszeichnen. Der meiſt mauerartige Wall zeigt eine große Regelmäßigkeit und iſt ſelten durch kleinere Krater unterbrochen, nach Innen aber mit doppelten bis fünffachen Terraſſen beſetzt. In der Mitte des Beckens erhebt ſich meiſt ein einfacher Berg, der aber ſelten die Höhe des Walles erreicht.

Dieſe größeren Krater ſind auch noch durch große Helligkeit des oberen Saumes und oft durch ein Strahlenſyſtem ausgezeichnet, welches ſich von ihnen aus bis weit in die grauen Ebenen erſtreckt. — Zu den größeren Kratern dieſer Klaſſe gehören Tycho (Nro. 3 in der erwähnten Mondlandſchaft), Copernicus, Ariſtoteles u. ſ. w. Zu den kleineren Kepler, Ariſtarch, Manilius u. ſ. w.

Die kleinen Krater, deren Zahl auf der uns zugewandten Seite des Mondes auf 50000 ſteigt, kommen ohne Ausnahme in allen Gegenden vor und erſcheinen vielfach als Unterbrechung der größeren Gebirgsformen, weshalb man ſie als die jüngſten Mondgebilde betrachtet.

An dieſe Kraterbildungen ſchließen ſich die Rillen an, welche man gewiſſermaßen als Längenkrater bezeichnen kann und welche als ſchmale Furchen, als grabenartige, weit ſich erſtreckende Vertiefungen erſcheinen. Die Rillen, nur durch die beſten Fernrohre ſichtbar, ſind 4 bis 20 Meilen lang, 1800 bis 12000 Fuß breit und 300 bis 1200 Fuß tief.

Obgleich die Ringgebirge auf dem Monde die vorherrſchenden ſind, ſo finden ſich doch auch Bergmaſſen, welche ohne beſondere Ordnung aufgethürmt erſcheinen und die man Maſſen- oder Kettengebirge nennt. Dieſe Gebirge ſind aber, wenn auch in ihrem Zuge eine beſtimmte Richtung vorherrſcht, ſehr von den großen Gebirgszügen der Erde verſchieden, denn die Kettengebirge des Mondes erſcheinen nur als unregelmäßig zuſammengeſtellte und aufgethürmte Berggipfel, an welchen wir Gebirgsthäler und Kämme im Sinne unſerer irdiſchen vergebens ſuchen.

Das Mondgebirge Kaukaſus, von welchem ein Theil in der Mondlandſchaft erſcheint, welche auf Tab. XIa unten links ſteht, mag als Beiſpiel derartiger Gebirgsbildungen dienen. Die in dieſer Landſchaft mit *A* bezeichnete Parthie iſt ein Theil des mare serenitatis.

Wenden wir uns endlich zu den ſchon flüchtig erwähnten Strahlenſyſtemen des Mondes, welche ſich von gewiſſen Punkten radienartig verbreiten und beim Vollmond in den grauen Ebenen beſonders auffällig ſind. Sie erſcheinen im

Gebirge, in den Kratertiefen, in den grauen Ebenen nur als Modification der Bodenfarbe; sie verschwinden in der Nähe der Lichtgränze, ohne auch nur eine Spur eines Schattens zu zeigen, folglich sind sie weder Erhöhungen noch Vertiefungen.

Die Höhen der Mondgebirge kann man auf zweierlei Art ermitteln, entweder aus der Länge der Schatten oder, wenn ein erleuchteter Berggipfel ringsum noch von Nacht umgeben ist, aus dem Abstand des hellen Punktes von der allgemeinen Lichtgränze. Auf diese Weise hat schon Galilei die Höhe einiger Mondberge ziemlich genau bestimmt. Nach den besten Messungen sind folgende die höchsten Kuppen der Massengebirge:

Dörfel . . .	23000	Pariser Fuß
Apenninen . .	17000	» »
Kaukasus . .	17000	» »

Folgendes sind die Höhen einiger Ringgebirge:

Newton . . .	22000	Pariser Fuß
Tycho . . .	16000	» »
Copernicus . .	11000	» »
Aristarch . . .	6000	» »

Die Mondgebirge kommen also an Höhe den bedeutendsten Berggipfeln der Erde sehr nahe.

Die Schatten der Mondberge sind vollkommen schwarz, so daß man an den vom Schatten bedeckten Stellen auch nicht das allermindeste Detail zu erkennen im Stande ist. Wo also auf dem Monde die Sonnenstrahlen nicht unmittelbar hintreffen, ist absolute Nacht. Die allgemeine Tageshelle, welche in den Schatten irdischer Gegenstände herrscht, fehlt auf dem Monde ebenso wie jede Spur von Dämmerung, woraus hervorgeht, daß der Mond keine Atmosphäre hat, daß auf der Mondoberfläche also auch kein Wasser vorhanden sein kann, dessen Dämpfe ja für sich schon eine Atmosphäre herstellen würden. Auf dem Monde ist demnach auch ein organisches Leben der Art, wie es auf der Erdoberfläche vorkommt, ganz unmöglich.

Es ist bereits §. 69 S. 165 bemerkt worden, daß das Verschwinden und Wiedererscheinen von Sternen, über welche der Mond gleichsam wegschreitet, ganz plötzlich ist, d. h. daß sie, ehe sie mit dem Mondrande in Berührung kommen oder nachdem sie denselben verlassen haben, keinerlei Ablenkung von der Stelle erfahren, an welcher man sie auch ohne die Annäherung des Mondes sehen würde. Auch diese Thatsache beweist die gänzliche Abwesenheit einer Mondatmosphäre.

Die Trabanten des Jupiter. Wenn man den Jupiter durch ein 77
Fernrohr von mäßiger Vergrößerung betrachtet, so sieht man, daß er von vier kleinen Sternchen begleitet ist, welche nahezu in einer geraden Linie aufgestellt erscheinen. Schon nach einigen Stunden läßt sich eine Veränderung in der gegenseitigen Stellung dieser Sternchen wahrnehmen. Fig. 130 (a. f. S.) stellt den

Jupiter mit ſeinen Trabanten dar, wie er ſich vom 21. bis 29. Juni 1851 Abends um 10 Uhr zeigte.

Fig. 130.

Aus einer genaueren Beobachtung der Jupiterstrabanten ergiebt ſich nun, daß ſie in Kreiſen um den Planeten herumlaufen; die Ebene dieſer Bahnen fällt beinahe mit der Ebene des Jupitersäquators zuſammen und deshalb erſcheinen ſie uns faſt ganz zur Linie verkürzt und wir ſehen die einzelnen Trabanten in dieſer Linie bald von Oſt nach Weſt und dann wieder von Weſt nach Oſt fortſchreiten.

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Entfernung der Jupiterstrabanten vom Mittelpunkt des Planeten in Jupitershalbmeſſern ausgedrückt nebſt ihrer Umlaufszeit:

	Abſtände.	Umlaufszeit.
1. Satellit	6,05	1,769 Tage.
2. »	9,62	3,551 »
3. »	15,35	7,155 »
4. »	27,00	16,689 »

Man ersieht aus dieser Tabelle, daß die Jupitertrabanten das dritte Kepler'sche Gesetz befolgen, daß sich nämlich die Quadrate ihrer Umlaufszeiten verhalten wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände vom Jupiter. Ebenso befolgen sie auch die beiden ersten Kepler'schen Gesetze.

Fig. 131 stellt den Jupiter mit den Bahnen seiner Trabanten in richtigem Größenverhältniß dar. Die Stellung jedes der vier Satelliten in seiner Bahn am 1. October 1856 Abends 10 Uhr ist durch einen Punkt, die Stellung derselben in derselben Stunde des folgenden Tages durch einen kleinen Strich bezeichnet, vorausgesetzt, daß sich die Erde in der Richtung von J nach A hin befindet.

Fig. 131.

Von der Erde aus gesehen sind die mittleren scheinbaren Durchmesser der vier Jupitersmonde:

I. 1,0″ III. 1,5″
II. 0,9″ IV. 1,3″,

die wahren Durchmesser sind also:

I. 529 geogr. Meilen,
II. 475 » »
III. 776 » »
IV. 664 » »

Das Ansehen dieser Trabanten ist ungefähr das von Sternen sechster Größe, man würde sie also wahrscheinlich mit bloßem Auge wahrnehmen können, wenn sie nicht durch die Nähe ihres glänzenden Planeten unsichtbar blieben.

An den Bahnen der beiden inneren Trabanten kann man keine Abweichung von der Kreisgestalt nachweisen, die Bahnen der beiden äußeren zeigen aber eine geringe Excentricität. Die Neigung der Bahnen gegen die Ebene des Jupitersäquators ist sehr gering, sie übersteigt nicht die Größe von einigen Minuten.

Da der Durchmesser des Jupiter sehr groß ist und die Trabanten ihm verhältnißmäßig sehr nahe stehen, da ferner die Neigung ihrer Bahnen gegen den Aequator des Planeten und gegen die Bahn desselben sehr gering ist, so ereignet sich bei jedem Umlauf dieser Monde eine Sonnen- und eine Mondfinsterniß. Nur der vierte geht manchmal über oder unter dem Jupitersschatten vorbei, sowie denn auch sein Schatten manchmal nördlich oder südlich vom Jupiter an demselben vorübergeht.

Mit guten Fernrohren sieht man den Schatten, welchen die Trabanten auf den Jupiter werfen, als einen schwarzen Punkt über denselben hingehen. Mit weit geringeren Instrumenten aber kann man schon das Verschwinden und Wiedererscheinen der Jupiterstrabanten beobachten, wenn sie in den Schatten ihres Planeten ein- oder austreten.

Um diese interessante Erscheinung anschaulicher zu machen, ist in Fig. 132 und Fig. 132a dieselbe dargestellt, wie sie sich in den Monaten Juni und December des Jahres 1861 zeigen wird.

Im Juni 1861, also zwischen der am 10. Februar stattfindenden Opposition und der am 30. August stattfindenden Conjunction des Jupiter mit der Sonne liegt der Schatten dieses Planeten von der Erde aus gesehen östlich von demselben; Ein- und Austritt der Trabanten in den Schatten des Jupiter kann man in dieser Zeit nur auf der Ostseite der Jupiterscheibe wahrnehmen.

Auf der jenseitigen Hälfte ihrer Bahn bewegen sich die Trabanten in der Richtung von West nach Ost, sie werden also am Westrande des Jupiter verschwinden. Der erste Trabant tritt in den Schatten ein, während er sich noch hinter der Jupiterscheibe befindet und wird erst bei *e* (Nro. I. Fig. 132) wieder sichtbar, wenn er aus dem Schatten austritt.

Für den zweiten Trabanten ist die Erscheinung ganz die gleiche, nur ist die Stelle *e* (Nro. II. Fig. 132), wo der Trabant wieder erscheint, etwas weiter vom Planeten entfernt.

Der dritte Trabant wird sogleich wieder sichtbar, wenn er am Ostrande der Jupiterscheibe vortritt (Nro. III. Fig. 132); erst bei *v* verschwindet er, wieder in den Schatten eintretend, aus dem er bei *e* wieder austritt.

Auch für den vierten Trabanten kann man den Eintritt in den Schatten und den Austritt aus demselben beobachten, nur ist die Stelle des Verschwindens *v* und die Stelle des Wiedererscheinens bei *e* weiter vom Jupiter entfernt, als für den dritten Trabanten, wie Fig. 132 Nro. IV. zeigt.

Je mehr Jupiter sich der Conjunction mit der Sonne nähert, desto mehr verkürzt sich von der Erde aus gesehen der Schatten desselben, desto näher rücken also auch die Stellen des Verschwindens und Wiedererscheinens der Trabanten der Jupiterscheibe; so ist denn für den dritten Trabanten im Juli 1861 der Eintritt in den Schatten nicht mehr sichtbar.

Nach der Conjunction liegt der Schatten des Jupiter von der Erde aus gesehen auf der Westseite des Planeten; die Trabanten werden also auf der Westseite der Jupiterscheibe im Schatten verschwinden, ehe sie den Westrand des Planeten erreichen, wie dies Fig. 132a erläutert, welche die Erscheinung für den December 1861 darstellt.

In der Zeit von ♃☌☉ bis ♃☍☉ kann man von der Erde aus die Eintritte der Trabanten in den Jupitersschatten, von ♃☍☉ bis ♃☌☉ dagegen die Austritte der Monde aus diesen Schatten wahrnehmen. Da die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten sehr häufig vorkommen, so können sie sehr gut als himmlische Signale für Längenbestimmungen auf der Erde benutzt werden. Die astronomischen Ephemeriden enthalten die bis auf Bruchtheile

einer Secunde vorausberechneten Momente der von der Erde aus sichtbaren Ein- und Austritte der Jupitertrabanten nach der Zeit des Meridians, unter welchem die Sternwarte liegt, auf welche sich die Ephemeriden beziehen.

Fig. 132.

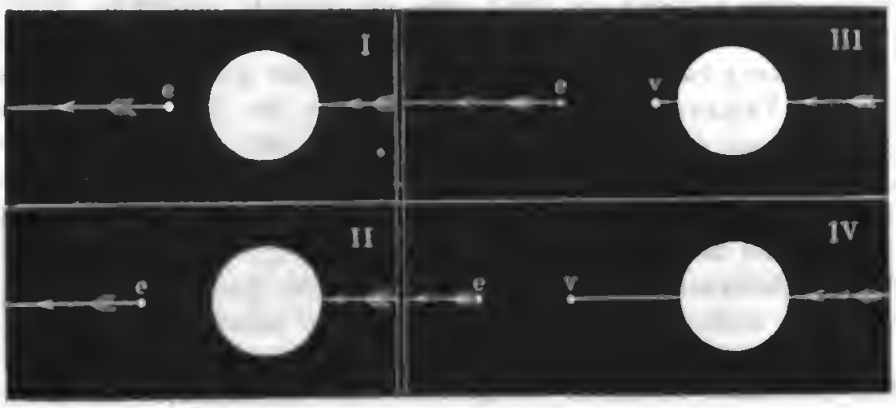
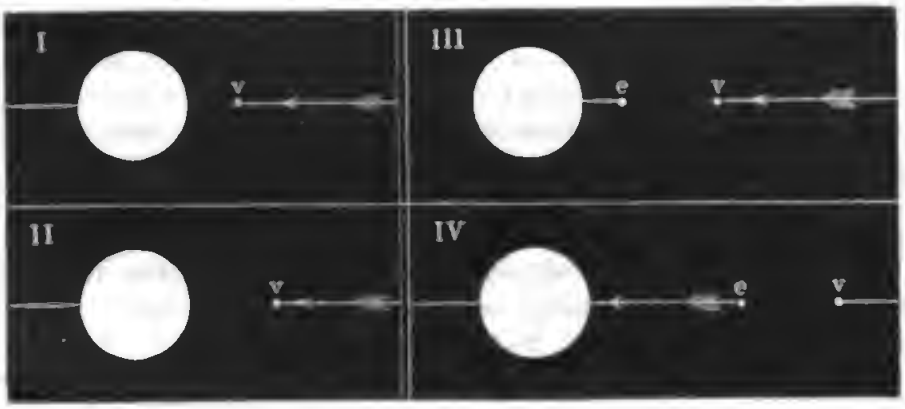


Fig. 132a.



Durch die sorgfältige Beobachtung der Verfinsterungen der Jupitertrabanten gelang es dem dänischen Astronomen Römer im Jahre 1765, die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen. Es wird davon im folgenden Buche ausführlicher die Rede sein.

Die Trabanten der äussersten Planeten. Sowohl Saturn 78
als auch Uranus sind von Satelliten umkreist, ja man hat bereits einen Trabanten des Neptun entdeckt.

Die Trabanten des Saturn sind weit schwieriger sichtbar als die Jupitersmonde. Während letztere sogleich nach Erfindung der Fernrohre entdeckt wurden, wurde der hellste der Saturnstrabanten erst im Jahre 1655 von Huyghens aufgefunden.

Bis jetzt kennt man 8 Saturnstrabanten. Der von Huyghens entdeckte ist vom Saturn an gerechnet der sechste. Cassini entdeckte den siebenten,

fünften, vierten und dritten von 1671 bis 1687. Den erſten und zweiten entdeckte Herſchel mit ſeinem Rieſenteleſkope in den Jahren 1788 und 1789.

Nur der ſechste Trabant (deſſen Abſtand vom Saturn 22 Halbmeſſer dieſes Planeten und deſſen Umlaufszeit 15,9 Tage beträgt) iſt ziemlich leicht ſichtbar; die übrigen können nur durch ganz ausgezeichnete Inſtrumente wahrgenommen werden. Die beiden innerſten Trabanten wurden erſt lange Zeit nach ihrer Entdeckung durch Herſchel wieder von Anderen geſehen, und zwar der zweite von Lamont im Sommer 1836, der erſte von den Aſtronomen des Collegio Romano im Juni 1838. Die Entfernung des erſten Trabanten vom Mittelpunkt des Saturn beträgt 3,14, die des zweiten beträgt 4,03 Halbmeſſer des Saturn.

Der achte Mond des Saturn wurde im Jahre 1848 faſt gleichzeitig von Bond in Nordamerika und von Loſſel in England beobachtet. Ueber ſeine Stellung im Syſtem iſt bis jetzt noch nichts Näheres bekannt.

Während die Ebenen der übrigen Saturnstrabanten nicht ſtark von der Ebene des Ringes abweichen, beträgt die mittlere Neigung der Bahn des ſiebenten Trabanten gegen die Ringebene über 21 Grad.

Da Uranus ſelbſt nur ein teleſkopiſcher Planet iſt, ſo iſt wohl begreiflich, daß ſeine Satelliten ſehr ſchwer ſichtbar ſind. Die beiden im Jahre 1787 von Herſchel zuerſt als ungemein feine Lichtpunkte entdeckten ſind die einzigen, deren Exiſtenz vollſtändig conſtatirt iſt. Außer ihnen beobachtete Herſchel noch vier andere, die aber ſeitdem kaum wieder geſehen worden ſind, und von denen ſich alſo mit Sicherheit nichts Näheres angeben läßt.

Die beiden mit Sicherheit bekannten Uranusmonde zeigen eine merkwürdige Ausnahme von den ſonſt in unſerem Planetenſyſtem herrſchenden Verhältniſſen, indem ihre Bahnen faſt rechtwinklig auf der Uranusbahn ſtehen und rückläufig ſind. Für den äußerſten dieſer beiden Satelliten beträgt die Neigung der Bahn gegen die Ebene der Uranusbahn ungefähr 79 Grad.

Bis jetzt iſt erſt ein Trabant des Neptun beobachtet worden, von welchem aber noch nichts Näheres bekannt iſt.

Sechstes Capitel.

Die Kometen.

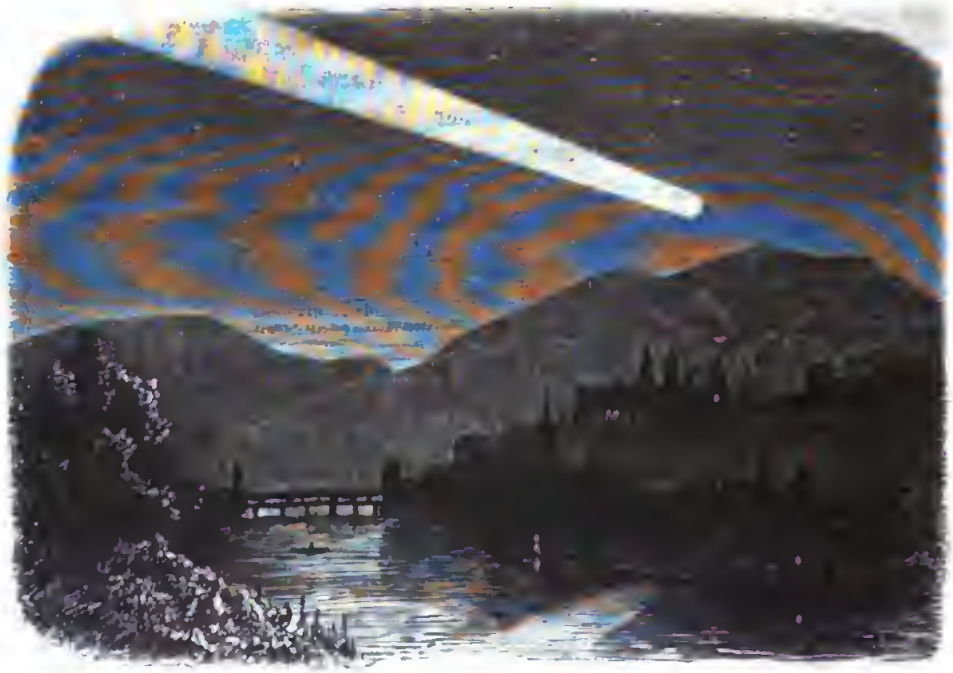
Eigenthümlichkeiten der Kometen. Außer den Planeten giebt 79
es noch eine große Anzahl anderer Gestirne, welche sich gleichfalls um die Sonne bewegen, sich aber von denselben sowohl durch ihr Ansehen als auch durch die Natur ihrer Bahnen wesentlich unterscheiden, nämlich die Kometen. Mit diesem Namen, den wir durch Haarsterne übersetzen können, bezeichnete man schon im Alterthum solche Gestirne, welche, durch einen mehr oder minder großen Schweif ausgezeichnet, unvermuthet am Himmel erscheinen und, nachdem sie einen von den Planetenbahnen meist sehr abweichenden Weg unter den Fixsternen zurückgelegt haben, wieder verschwinden.

Der Aberglaube sah in den Kometen Vorboten von Krieg, Pest, Hungersnoth und von sonstigen Uebeln aller Art. Die Ungereimtheit einer solchen Meinung trat in dem Maße deutlicher hervor, als man das Wesen der Kometen näher kennen lernte und nachzuweisen im Stande war, daß ihre Bahnen denselben Bewegungsgesetzen folgen, wie die Planetenbahnen. Daß die Erscheinung der Kometen ebenso wenig mit den Schicksalen des Menschengeschlechts oder einzelner Individuen zusammenhängt, wie die Constellationen der Planeten, bedarf wohl keines weiteren Beweises; daß aber die Kometen auch keinen Einfluß auf den Gang der Erscheinungen in unserer Atmosphäre haben, daß sie namentlich nicht auf die Witterungsverhältnisse influiren, mußte man einsehen, sobald man ihre kosmische Natur erkannt hatte.

Ansehen der Kometen. Die meisten Kometen zeigen einen hellen 80
rundlichen Kern, welcher von einer schwächer leuchtenden nebligen Hülle umgeben ist, die sich auf einer Seite, und zwar in der Regel auf der der Sonne abgewandten, in einen Schweif verlängert. Dieser Schweif erscheint uns manchmal unter einem Winkel von 60 bis 90, ja bis 100°, so daß er über einen bedeutenden Theil des Himmelsgewölbes wegzieht, wie man dies aus Fig. 133 und Fig. 134 ersieht. Die letztere stellt den Kometen von 1618 nach einer Ab-

Fig. 133.

Fig. 134.



bildung im Theatrum europaeum, die erstere den Kometen von 1843 nach einer im ersten Jahrgang der Illustrirten Zeitung befindlichen Abbildung dar, und zwar sammt der landschaftlichen Umgebung, wodurch man leicht einen Maßstab für die Größe der Erscheinung erhält.

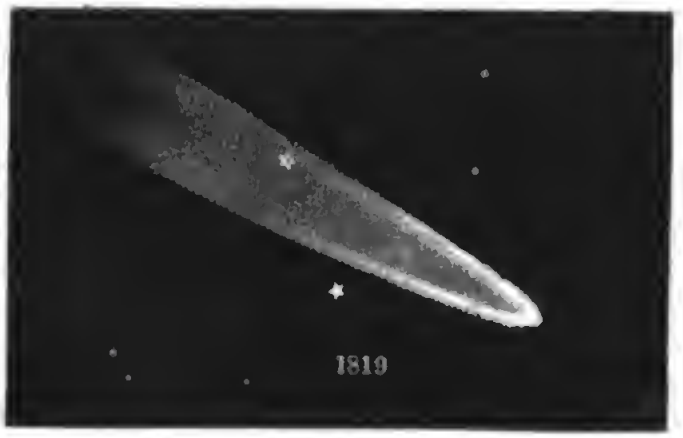
Der Kometenschweif ist bald gerade, bald mehr oder weniger gekrümmt, wie dies z. B. der schöne Komet von 1811 zeigt, welcher Fig. 135 dargestellt ist; fast immer aber erstreckt er sich vom Kopf aus nach der von der Sonne abgewendeten Seite hin.

Fig. 135.

Komet von 1811.

Manchmal fehlt der Kern ganz, wie z. B. bei dem schönen Kometen, der im Jahre 1819 beobachtet wurde (Fig. 136).

Fig. 136.



1819

Die Geſtalt des Schweifes iſt mannigfachen Variationen unterworfen, ja für einen und denſelben Kometen ſieht man, wie ſie ſich allmälig ändert. Man hat ſogar Kometen beobachtet, welche mehrere Schweife zeigen; der Komet vom Jahre 1744 hatte deren ſogar ſechs, Fig. 137, oder vielmehr ſein Schweif er-

Fig. 137.

Fig. 138.

ſchien in ſechs Theile geſpalten, von denen jeder 4° breit und 30 bis 40° lang war. Bei dem ſehr glänzenden Kometen von 1807, Fig. 138, theilte ſich der Schweif in zwei Aeſte.

Durch den Schweif der Kometen hindurch kann man die Fixſterne deutlich ſehen, ja Beſſel und Struve haben ſelbſt durch die Kerne der Kometen hindurch noch Fixſterne beobachtet, woraus hervorgeht, daß die Maſſe der Kometen durchſichtig iſt. Was den Ort der durch die Kometen hindurch geſehenen Sterne betrifft, ſo zeigt ſich derſelbe durchaus nicht merklich verändert, die Lichtſtrahlen erleiden alſo, indem ſie durch den Kometen hindurchgehen, keine Ablenkung durch Brechung, was darauf hindeutet, daß die Maſſe der Kometen nicht gasförmig ſei, ſondern aus einer gleichſam ſtaubartigen Maſſe, aus discreten, durch leere Zwiſchenräume getrennten Theilchen beſtehen muß.

81 **Scheinbare Bahn der Kometen.** Während die Planeten ſtets in der Nähe der Ekliptik beobachtet werden, entfernen ſich die Kometen meiſt ſehr weit von derſelben, und während die Planetenbahnen nur wenig gegen die Sonnenbahn geneigt ſind, kommt es bei Kometen öfters vor, daß ſie beinahe rechtwinklig auf der Ekliptik ſtehen, ſo daß ſie oft in die Nähe des Polarſternes kommen. Der Komet vom Jahre 1618 erſchien z. B. zuerſt im Sternbild der Wage am 28. November, ungefähr in der Mitte zwiſchen den Sternen α und β, durchlief das Sternbild des Bootes und verſchwand endlich am 18. Januar 1619 bei einer nördlichen Declination von 77° ungefähr auf der Linie, welche die Sterne α und β des großen Bären mit dem Polarſterne verbindet.

Als der Kern dieſes Kometen ungefähr bei ξ des Bootes ſtand, Fig. 139, erſtreckte ſich der Schweif, einer Zeichnung des Cyſatus zufolge, bis in die linke Vordertatze, d. h. bis zu den Sternen ι und $\varkappa$ des großen Bären.

Die Bahn des großen Kometen von 1680 und 1681 macht einen kleinen Winkel mit der Ekliptik. Der Komet erſchien in der letzten Hälfte des November

Fig. 139. Komet von 1618.

1680 im Sternbild der Jungfrau. Am 27. November war ſeine geocentriſche Länge 193°, ſeine ſüdliche Breite 1°; bis zum 5. December war ſeine geocentriſche Länge auf 236° und ſeine ſüdliche Breite auf 2° 42′ gewachſen, er war alſo während dieſer Zeit, in welcher er in den Morgenſtunden ſichtbar war,

ganz in der Nähe der Ekliptik geblieben; nach dem 7. December verſchwand er in den Strahlen der Sonne, um am 22. December öſtlich von der Sonne wieder zu erſcheinen. An dieſem Tage war die geocentriſche Länge des Kerns ungefähr 277°, ſeine nördliche Breite aber 7,5°. Er durchlief nun die Sternbilder des Adlers, des Delphins, des Pegaſus, der Andromeda, des Triangels, und verſchwand am 18. März 1681 in der Nähe des Sternes ζ des Perſeus. Am 4. Februar war ſeine geocentriſche Länge 39° bei einer nördlichen Breite von etwas über 19°. Man kann nach dieſen Angaben die Bahn des fraglichen Kometen auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV. verfolgen.

82 **Der Donati'ſche Komet.** Im Herbſt 1858 erſchien ein Komet, welcher, der ſchönſte unter allen bis jetzt in dieſem Jahrhundert ſichtbar gewordenen, die weſentlichſten der in den beiden letzten Paragraphen beſprochenen Eigenthümlichkeiten in ganz ausgezeichneter Weiſe zur Anſchauung brachte. Wir wollen uns deshalb etwas näher mit demſelben beſchäftigen.

Am 2. Juni 1858 entdeckte Donati auf der Sternwarte zu Florenz einen teleſkopiſchen Kometen, welcher am 10. September zuerſt mit bloßem Auge ſichtbar wurde und welcher nach ſeinem erſten Beobachter den Namen des Donati'ſchen Kometen führt.

In Fig. 140 iſt die ſcheinbare Bahn des Donati'ſchen Kometen vom 12. September bis zum 14. October eingetragen. Der Kopf deſſelben durchlief, nachdem er das Sternbild des großen Bären (von welchem unſere Karte nur ein kleines Stück enthält) verlaſſen hatte, die Gränzlinie zwiſchen dem Sternbild der Jagdhunde und dem des Haares der Berenice; trat dann in das Sternbild des Bootes ein und gelangte endlich durch das ſüdweſtliche Eck der Schlange in das Sternbild des Scorpions.

Selbſt die kleinſten Sterne waren durch den Schweif des Komelen ſichtbar. Die größte Lichtſtärke zeigten Kern und Schweif in den letzten Tagen des September und den erſten des October. Seine größte Länge erreichte der Schweif am 6., 7. und 8. October.

In unſerer Figur iſt der Schweif nach Lage und Größe für mehrere Beobachtungsabende möglichſt genau eingetragen; auf demſelben Kärtchen findet man aber auch ein Stück der Ekliptik, auf welchem der Stand der Sonne für den 27. September, den 8. und 15. October bezeichnet iſt. Verbindet man dieſe Sonnenörter mit den gleichzeitigen Kometenörtern durch gerade Linien, ſo findet man, daß in der That der Schweif des Kometen ſtets von der Sonne abgewendet war.

Der Schweif des Donati'ſchen Kometen erſchien gegen den Kopf hin weit mehr zugeſpitzt, als es die Abbildungen früherer Kometen zeigen. Er machte namentlich vom 27. September bis zum 4. October durchaus den Eindruck einer niederfallenden Rakete, wie dies auch möglichſt treu das landſchaftliche Bild des Kometen vom 30. September auf Tab. XIIIa. anſchaulich macht, welches auch die Conſtellation des Kometen zum Sternbild des großen Bären richtig wieder giebt.

Der Schweif war nie gerade, ſondern ſtets gekrümmt und zwar war ſeine convexe Wölbung nach der Seite gerichtet, gegen welche er fortſchreitet, gerade ſo alſo, als ob er durch ein widerſtrebendes Medium, in welchem ſich der Komet

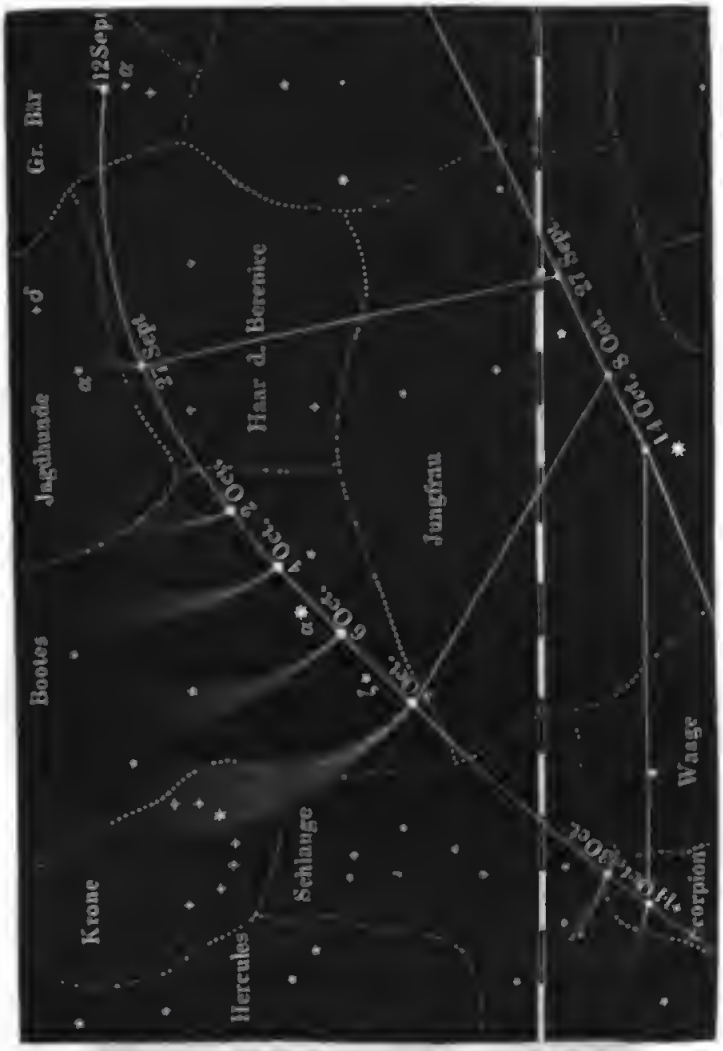


Fig. 140.

bewegt, zurückgebogen würde. Dabei war der Schweif auf der convexen Seite entſchieden ſchärfer begränzt als auf der concaven, was ſich namentlich am 6., 7. und 8. October deutlich zeigte.

Durch ein ausgezeichnetes Fernrohr von 60maliger Vergrößerung betrachtet, machte der Kopf des Kometen den Eindruck einer nicht ſcharf begränzten, in einer Nebelhülle ſchwebenden Kugel, wie dies in Fig. 2 Tab. XIa möglichſt treu wieder zu geben verſucht worden iſt. Von einer Ausſtrömung vom Kopf des Kometen gegen die Sonne hin, von welcher andere Beobachter berichten, habe weder ich noch mehrere naturwiſſenſchaftliche Freunde, welche ſich an den

Beobachtungen betheiligten, trotz aller auf dieſen Punkt gerichteten Aufmerkſamkeit, etwas wahrnehmen können.

Fig. 141.

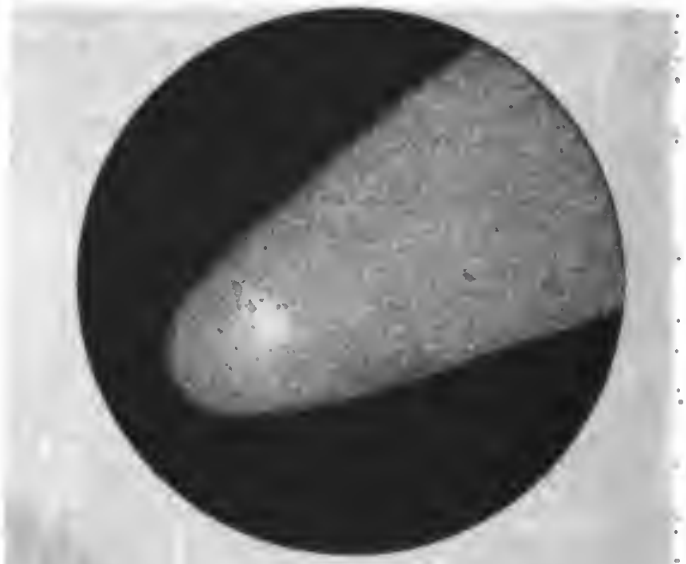


Fig. 142

Hinter der Kugel (d. h. nach der von der Sonne abgewendeten Seite hin) zeigte ſich, wie dies bei den meiſten Kometen der Fall iſt, ein dunkler Raum, welcher in der Nähe des Kopfes wenigſtens, den Schweif gleichſam in zwei Lichtſtreifen theilte. In größerer Entfernung vom Kopfe war dieſer dunkle Zwiſchenraum nicht mehr zu erkennen, wie er denn überhaupt nirgends, ſelbſt in der Nähe des Kopfes nicht, die volle Dunkelheit des umgebenden Himmels hatte.

Die richtige Deutung dieſes dunklen Raumes dürfte wohl, wie auch allgemein angenommen wird, die ſein, daß wenigſtens das Kopfende des Kometenſchweifes ein hohles Umdrehungsparaboloid einer nebelartigen Subſtanz ſei.

Vor Kurzem erhielt ich von meinem Freunde Ludwig Becker aus Melbourne in Auſtralien intereſſante Mittheilungen über die dort angeſtellten Beobachtungen des Donati'ſchen Kometen. Er wurde daſelbſt zum erſten Male am 11. October beobachtet und war bis zum 12. November ſichtbar. Am 19. October ſtand er ungefähr 5 Grad öſtlich von Antares.

Fig. 141 und Fig. 142 ſtellen den Kopf des Donati'ſchen Kometen nach Becker's Zeichnungen dar, wie er am 13. und 14. October auf der Sternwarte zu Melbourne durch ein Steinheil'ſches Fernrohr von 79facher Vergrößerung erſchien. Fig. 142 zeigt eine Erſcheinung, welche als eine Ausſtrömung gegen die Sonne gedeutet werden könnte.

Wahre Geſtalt der Kometenbahnen. Lange Zeit ſuchte man ver- 83
gebens nach einer, den ſcheinbaren Lauf der Kometen genügend erklärenden Theorie. Erſt Dörfel, ein Prediger zu Plauen im Voigtlande, ſtellte, durch die Erſcheinung des großen Kometen von 1680 und 1681 veranlaßt, die Meinung auf: die Bahn der Kometen ſei eine Parabel, in deren Brennpunkte der Mittelpunkt der Sonne liege. Durch Newton's neues Weltſyſtem fand alsbald Dörfel's Meinung ihre Beſtätigung und genauere Beſtimmung.

Auf Tab. XII. iſt die paraboliſche Bahn des Kometen von 1680 und 1681 dargeſtellt. Mit Hülfe dieſer Figur wird man ſich überzeugen können, daß die paraboliſche Hypotheſe den vorher angegebenen ſcheinbaren Lauf des Kometen genügend erklärt (natürlich nur in Beziehung auf die Veränderungen in der Länge; um die Veränderungen in der Breite nachzuweiſen, müßte man noch die Neigung der paraboliſchen Bahn in Betracht ziehen, wozu, wenn es durch Zeichnung geſchehen ſollte, noch eine weitere Figur nöthig wäre).

Als der Komet am 17. December 1680 durch ſein Perihelium ging, war er nur noch 128000 Meilen von dem Mittelpunkte und nur 32000 Meilen von der Oberfläche der Sonne entfernt. In dieſer ungemeinen Nähe mußte, von ihm aus geſehen, die Sonne als eine Scheibe von 96° Durchmeſſer erſcheinen; gleichwohl iſt er nach dem Durchgang durch das Perihelium ein Komet geblieben.

Nachdem man einmal die Bahnen beſtimmen gelernt hatte, welche die Kometen in unſerem Sonnenſyſtem durchlaufen, ergab ſich auch der wahre Ort, den ſie an beſtimmten Tagen im Raume einnahmen. So erſehen wir aus Tab. XII., daß der Komet von 1680 und 1681 am 22. December 1680 nahezu 4 Millionen Meilen von der Sonne und etwas über 10 Millionen Meilen von der Erde abſtand (da die Entfernung der Erde von der Sonne in runder Zahl 20 Millionen Meilen beträgt).

Ferner war man nun auch im Stande, die wahre Länge der Kometenſchweife zu beſtimmen, und fand hier oft ganz enorme Dimenſionen. Der Schweif des Kometen von 1618 erreichte eine Länge von 9 Millionen Meilen, der Schweif des Kometen von 1680 und 1681 muß mindeſtens 10 Millionen Meilen betragen haben. Der Komet von 1811 hatte einen Schweif von 12 bis 15 Millionen Meilen.

Die Kometen bleiben uns nur ſo lange ſichtbar, als ſie ſich in der Nähe ihres Periheliums befinden und nicht durch die Strahlen der Sonne überglänzt werden. Die meiſten verſchwinden für uns, ſobald ſie ſich über die Jupitersbahn hinaus von der Sonne entfernen.

Die Bahn eines Kometen kann möglicherweiſe eine Hyperbel, oder eine Parabel, oder endlich eine Ellipſe ſein. Bewegt ſich der Komet in einer der beiden erſtgenannten Curven, ſo kann er uns überhaupt nur einmal erſcheinen; er kommt gewiſſermaßen aus unendlicher Ferne, um nach einiger Zeit unſer Sonnenſyſtem auf immer wieder zu verlaſſen. Eine ſolche Annahme iſt nun in mancher Beziehung unwahrſcheinlich, und es läßt ſich eher annehmen, daß die Kometen ſich in ſehr langgeſtreckten Ellipſen bewegen.

Der Umſtand, daß der beobachtete Lauf der Kometen ſich in der Regel ſehr gut durch eine paraboliſche Bahn darſtellen läßt, widerſpricht aber dieſer letzteren Anſicht gar nicht; denn eine Parabel und eine ſehr ſtark excentriſche Ellipſe, welche einen gemeinſchaftlichen Brennpunkt f, Fig. 143, und einen gemeinſchaftlichen Gipfel b haben, fallen in der Nähe dieſes Gipfels, welcher dem Perihelium entſpricht, ſehr nahe zuſammen. So kann in der That das Bogenſtück abc, Fig. 143, ebenſo gut ein Stück der Parabel $habck$ als auch ein Stück der Ellipſe $abcd$ ſein. Die Kometen ſind uns aber gerade nur in der Nähe des Periheliums ſichtbar; wenn ſich alſo auch ihre ſcheinbare Bahn ganz gut als ein Stück einer Parabel berechnen läßt, ſo iſt damit doch die Möglichkeit nicht ausgeſchloſſen, daß die Bahn in Wirklichkeit eine Ellipſe ſei.

In den meiſten Fällen genügt die paraboliſche Bahn den Beobachtungen und man behält ſie dann bei, weil ihre Berechnung ungleich einfacher iſt als die einer elliptiſchen Bahn.

Berechnet man aus den beobachteten Kometenorten eine elliptiſche Bahn, ſo wird man begreiflicherweiſe in Betreff einiger Bahnelemente keine große Ge-

nauigkeit zu erwarten haben; namentlich ist dies für die Länge der großen Axe und die Umlaufszeit der Fall.

Enke hat nach den zuverlässigsten Beobachtungen des Kometen von 1680 und 1681 eine elliptische Bahn desselben berechnet. Dieser Rechnung zufolge würde er im Aphelium ungefähr 853 Erdweiten, also 17000 Millionen Meilen weit von der Sonne entfernt sein. Sein Abstand im Aphelium wäre also 140000mal größer als der im Perihelium. Als wahrscheinliche Umlaufszeit ergab sich ungefähr 8800 Jahre.

Fig. 143.

Mag nun die Kometenbahn eine parabolische oder eine elliptische sein, so findet auch hier das zweite Kepler'sche Gesetz seine volle Anwendung, d. h. die Geschwindigkeit des Kometen in seiner Bahn ist stets eine solche, daß der von der Sonne zum Kometen gezogene Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurücklegt. Die Geschwindigkeit des Kometen ist also am größten, während er das Perihelium passirt.

Für den Kometen von 1680 und 1681 ergiebt sich aus Enke's Rechnungen, daß er im Perihelium 53 Meilen, im Aphelium aber nur 10 Fuß in der Secunde zurücklegt. Im Aphelium ist also seine Geschwindigkeit ungefähr 116600mal geringer als im Perihelium.

84 **Wiederkehrende Kometen.** Halley, ein Zeitgenoſſe Newton's, bemerkte, daß die Elemente der Bahn des ſchönen Kometen von 1682 faſt genau dieſelben ſeien, wie die der Kometen von 1607 und 1531.

Folgendes ſind die fraglichen Elemente:

Komet von	Länge ☊.	Neigung der Bahn.	Länge des Perihels.	Abſtand des Perihels von ☉.
1531	49°25′	17°56′	301°39′	0,57 Erdweiten.
1607	50 21	17 2	302 16	0,58 »
1682	50 48	17 42	301 36	0,58 »

Alle drei waren rückläufig. Er wurde dadurch auf den Gedanken geleitet, daß es wohl ein und derſelbe Komet ſei, welcher in den drei genannten Jahren erſchienen war und der eine Umlaufszeit von 75 bis 76 Jahren habe. Er kündigte ſeine Wiederkehr auf das Ende des Jahres 1758 oder den Anfang des Jahres 1759 an, und in der That ging er am 12. März 1759 wieder durchs Perihelium.

Eine abermalige, voraus angekündigte Erſcheinung des Halley'ſchen Kometen fand im Jahre 1835 Statt, wo er am 16. November das Perihelium paſſirte.

Die erſte durch aſtronomiſche Beobachtungen hinlänglich conſtatirte Erſcheinung des Halley'ſchen Kometen iſt die von 1456.

Die halbe große Axe der Bahn des Halley'ſchen Kometen beträgt ungefähr 19 Erdweiten; in ſeinem Aphelium iſt er ungefähr 37,4 Erdweiten von dem der Sonne entfernt.

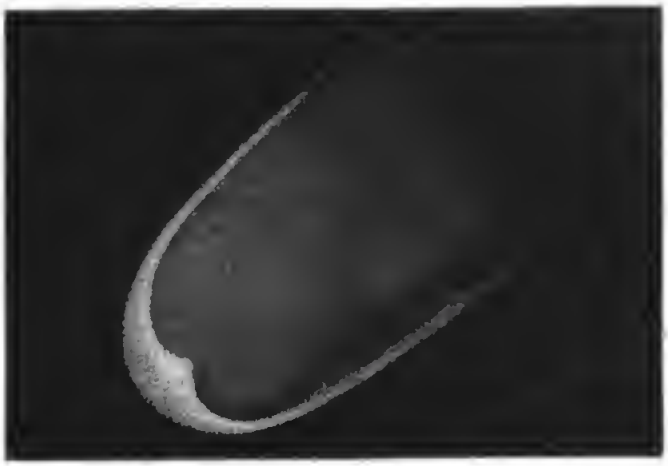
Im Jahre 1456 erreichte der Schweif des Halley'ſchen Kometen eine Länge von 60 Graden, und ebenſo zeigte er im Jahre 1531 einen ſchönen Schweif. Im Jahre 1607 dagegen erſchien er nicht beſonders glänzend und namentlich war ſein Schweif ſehr klein, was wohl darin lag, daß er der Erde ſchon lange Zeit vor ſeinem Perihelium wieder verſchwand. Im Jahre 1682 erſchien er wieder mit ſtarkem Glanze, obgleich er dem Kometen von 1680 nicht gleich kam.

Im Jahre 1759 konnte der Halley'ſche Komet nur eine kurze Zeit mit bloßem Auge geſehen werden. An Glanz ſtand er diesmal der Erſcheinung von 1682 nach, aber nicht in Beziehung auf die Länge des Schweifes, welche bis auf 47° ſtieg.

Die Erſcheinung des Halley'ſchen Kometen im Jahre 1835 war ziemlich unſcheinbar und befriedigte die Erwartungen des größeren Publikums keines-

weges. Durch Fernrohre geſehen, bot er den Anblick Fig 144. Von dem kleinen Kern, welcher kaum 30 Meilen im Durchmeſſer haben konnte, ging nämlich eine fächerartige, gegen die Sonne gerichtete Flamme aus, welche ſich

Fig. 144.



aber zu beiden Seiten zurückkrümmte und ſo allmälig in den Schweif überzugehen ſchien. Beſſel iſt geneigt, dies als eine von dem Kometenkerne ausgehende Strömung einer hellen Materie anzuſehen, welche nach einigen Beobachtern auch der Donati'ſche Komet zeigte.

Die nächſte Erſcheinung des Halley'ſchen Kometen wird im Jahre 1911 ſtattfinden.

Dies iſt der einzige größere, mit bloßem Auge ſichtbare Komet, deſſen Umlaufsperiode bekannt iſt.

Im Jahre 1815 entdeckte Olbers einen teleſkopiſchen Kometen, aus deſſen, faſt ein halbes Jahr lang fortgeſetzten Beobachtungen ſich eine Umlaufszeit von 74 bis 75 Jahren ergab.

Ein dritter Komet, deſſen Umlaufszeit man kennt, iſt der Enke'ſche. Dieſer, nach ſeinem Berechner genannte Komet iſt gleichfalls nur teleſkopiſch; er wurde im November 1818 von Pons in Marſeille entdeckt. Enke erkannte, als er nach den beobachteten Oertern eine Bahn berechnete, daß er mit den in den Jahren 1786, 1795 und 1805 beobachteten identiſch ſein müſſe. Die Umlaufszeit dieſes Kometen beträgt nur 1208 Tage. Sein kleinſter Abſtand von der Sonne beträgt 0,33, ſein größter 4,07 Erdweiten. Die Neigung ſeiner Bahn gegen die Ekliptik iſt 13°; die Länge des aufſteigenden Knotens 335°, die Länge des Periheliums 157°. Der Enke'ſche Komet hat eine kugelförmige Geſtalt ohne merklichen Schweif.

Der Biela'ſche Komet iſt gleichfalls nicht mit bloßem Auge ſichtbar; im Fernrohre erſcheint er als rundlicher Nebel, deſſen Durchmeſſer im Jahre 1805 nach Schröter's Meſſungen 9460 Meilen betrug. Im Perihelium iſt er 0,94,

im Aphelium 6,26 Erdweiten von der Sonne entfernt. Die Neigung ſeiner Bahn iſt 13°, die Länge des aufſteigenden Knotens 249°, die Länge des Periheliums 108°. Seine Umlaufszeit beträgt 6 Jahre und 270 Tage.

Tab. XIII. zeigt die auf die Ebene der Ekliptik projicirten Bahnen des Enke'ſchen und Biela'ſchen Kometen und ein Stück der Bahn des Halley'ſchen.

Außer dieſen kennen wir jetzt noch zwei wiederkehrende Kometen, nämlich den Faye'ſchen, der eine Umlaufszeit von $7^2/_5$ Jahren hat, und den Kometen von De Vico, deſſen Umlaufszeit $5^1/_2$ Jahr beträgt.

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

Mechanische Erklärung der Planetenbewegung durch Newton. 85
Nachdem Kepler die wahren Gesetze der Planetenbewegung aus den Beobachtungen abgeleitet hatte, war es die nächste Aufgabe der Astronomie, die mechanischen Ursachen derselben aufzusuchen, die Planetenbewegung auf mechanische Gesetze zurückzuführen. Es ist Newton's unsterbliches Verdienst, diese große Aufgabe gelöst zu haben.

Schon früher hatte es nicht an Versuchen gefehlt, die Kräfte auszumitteln, welche bei der Planetenbewegung thätig sind; man kam aber nicht zu einem Resultate, weil die Vorbedingungen fehlten, ohne welche ein solcher Schritt nicht gemacht werden konnte. Um eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung geben zu können, mußte man nicht allein wissen, welches die wahren Gestalten der Planetenbahnen sind und mit welcher Geschwindigkeit sie durchlaufen werden, sondern es mußten die Grundgesetze der Mechanik selbst erst ermittelt sein. So lange man das Wesen und die Gesetze der krummlinigen Bewegung überhaupt nicht kannte, war auch eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung nicht möglich.

Die Begründung der Mechanik ist mit der Entdeckung der wahren Gesetze der Planetenbewegung fast gleichzeitig. Es ist Galiläi, welcher die Gesetze des freien Falles, der Pendelbewegung, der Wurfbewegung erkannte, welcher das Gesetz der Trägheit begründete und dadurch gerade der Schöpfer der Mechanik wurde. Das Gesetz der Trägheit zeigt, wie ein Körper, welcher einmal in Bewegung ist, diese Bewegung unverändert beibehält, wenn nicht äußere Kräfte sie aufheben oder modificiren; wie jede krummlinige Bewegung durch die Combination der dem Körper bereits inwohnenden und durch das Beharrungsvermögen ihm verbleibenden Geschwindigkeit mit den Wirkungen irgend einer continuirlich wirkenden beschleunigenden Kraft entsteht.

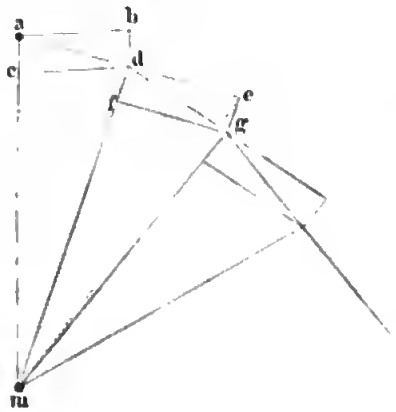
Kepler und Galiläi ſind es alſo, welche den Grund zu dem wiſſenſchaftlichen Gebäude legten, welches durch Newton's Entdeckung der allgemeinen Schwere vollendet wurde.

Wie durch die Combination irgend einer beſchleunigenden Kraft mit der Geſchwindigkeit, welche ein Körper bereits hat, überhaupt eine krummlinige Bewegung entſteht, wie der Körper beſtändig um einen feſten Anziehungsmittelpunkt kreiſt, wenn die beſchleunigende Kraft ſtets gegen dieſen Anziehungsmittelpunkt hin gerichtet iſt, wird hier als bekannt vorausgeſetzt (Lehrbuch der Phyſik, 5. Aufl. 1. Bd. Seite 218). In den folgenden Paragraphen ſollen nun die mechaniſchen Geſetze der Planetenbewegung überhaupt näher betrachtet, zunächſt aber aus den Kepler'ſchen Geſetzen die Natur der beſchleunigenden Kräfte abgeleitet werden, welche auf die Planeten wirken.

86 **Die Planeten werden durch Centralkräfte angetrieben.** Nach dem erſten Kepler'ſchen Geſetze ſind die Flächenräume gleich, welche der die Sonne und den Planeten verbindende Leitſtrahl in gleichen Zeiten zurücklegt. Aus dieſem Geſetze folgt aber, daß die beſchleunigende Kraft, welche auf die Planeten wirkt, ſtets gegen die Sonne hin gerichtet ſei.

Wenn ein Körper in a, Fig. 145, mit einer ſolchen Geſchwindigkeit ankommt, daß er in dem nächſten kleinen Zeittheilchen vermöge dieſer Geſchwindigkeit den Weg ab zurücklegen würde, ſo wird er, wenn ein gegen den Centralpunkt m gerichteter Stoß auf ihn einwirkt, welcher ihn in demſelben Zeittheilchen für ſich allein von a nach c führen würde, in dieſem Zeittheilchen in der That den Weg ad zurücklegen; der von dem fraglichen Körper nach m gezogene Leitſtrahl hat alſo das Dreieck amd zurückgelegt.

Fig. 145.



Wenn nun auf den in d angekommenen Körper keine beſchleunigende Kraft weiter einwirkte, ſo würde er im nächſten gleichgroßen Zeittheilchen den Weg de zurücklegen, und da $de = da$ ſein würde, ſo iſt auch das Dreieck dem gleich dem Dreieck dam. Sobald aber auf den in d angekommenen Körper abermals ein gegen m hin wirkender Stoß wirkt, welcher ihn in der Zeiteinheit für ſich allein von d nach f führen würde, ſo wird nun der Körper in dieſem zweiten Zeittheilchen den Weg dg zurücklegen. Da nun aber eg parallel iſt mit dm, ſo hat das Dreieck dgm gleiche Grundlinie dm und gleiche Höhe mit dme, es iſt alſo:

$$\triangle\, dgm = \triangle\, dem,$$

und da das Dreieck dem gleich iſt dem Dreieck dam, ſo haben wir auch:

$$\triangle\, dgm = \triangle\, dam.$$

In gleichen Zeittheilchen legt alſo der Leitſtrahl gleiche Flächenräume zurück, ſobald die beſchleunigende Kraft nur ſtets gegen denſelben Punkt hin gerichtet iſt, nach welchem Geſetze im Uebrigen die beſchleunigende Kraft mit der Entfernung von m ſich ändern mag.

Die Eigenthümlichkeit, daß der Leitſtrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beſchreibt, findet nur dann Statt, wenn der Mittelpunkt, von dem aus man die Leitſtrahlen nach dem beweglichen Körper gezogen denkt, zugleich der Punkt iſt, nach welchem die beſchleunigende Kraft ſtets hinwirkt. Wirkte z. B. auf den in d angekommenen Körper nun eine beſchleunigende Kraft, deren Richtung nicht in die Linie dm fällt, ſo würde der Körper am Ende des nächſten Zeittheilchens in irgend einem Punkte h ankommen, welcher nicht auf der mit dm parallelen Linie eg, ſondern dieſſeits oder jenſeits derſelben liegt, das Dreieck dmh würde alſo größer oder kleiner ſein als dam.

Da nun in der That der von dem Planeten zur Sonne gezogene Leitſtrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beſchreibt, ſo iſt klar, daß die Sonne den Centralpunkt bildet, gegen welchen die auf die Planeten einwirkenden beſchleunigenden Kräfte ſtets gerichtet ſind.

Abnahme der Centralkraft mit wachsender Entfernung von der Sonne. 87 Aus dem zweiten Kepler'ſchen Geſetze konnte man nur den Schluß ziehen, daß die Planeten ſtets gegen die Sonne hingetrieben, wir können alſo auch ſagen, von der Sonne angezogen werden; in welchem Verhältniß aber dieſe anziehende Kraft der Sonne zu dem Abſtande der Planeten von derſelben ſtehe, das läßt das zweite Kepler'ſche Geſetz, wie ſchon bemerkt wurde, völlig unentſchieden, denn es findet Statt, welches auch das Geſetz ſein mag, welchem dieſes Verhältniß unterworfen iſt. Dieſes Geſetz ergiebt ſich aber als nothwendige Folge aus dem dritten Kepler'ſchen Geſetze.

Nach dem dritten Kepler'ſchen Geſetze verhalten ſich die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abſtände von der Sonne (Seite 141). Bezeichnen wir mit T und t die Umlaufszeiten, mit R und r die mittleren Abſtände zweier Planeten, ſo haben wir alſo:

$$\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}.$$

Die Mechanik lehrt uns aber, daß, wenn ein Körper um einen Anziehungsmittelpunkt einen Kreis vom Halbmeſſer r während der Zeit t zurücklegt, alsdann die beſchleunigende Kraft v, welche den Körper gegen den Mittelpunkt hintreibt, iſt:

$$v = \frac{4\pi^2 r}{t^2}.$$

Für den Planeten, deſſen Umlaufszeit T und deſſen mittlerer Abſtand von der Sonne R iſt, haben wir demnach:

$$V = \frac{4\pi^2 R}{T^2},$$

folglich:

$$\frac{r}{V} = \frac{4\pi^2 r}{t^2} \cdot \frac{T^2}{4\pi^2 R} = \frac{r \cdot T^2}{R t^2}.$$

Nun aber iſt $\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}$, folglich haben wir:

$$\frac{v}{V} = \frac{r}{R} \cdot \frac{R^3}{r^3} = \frac{R^2}{r^2},$$

das heißt mit Worten, die beſchleunigenden Kräfte, welche die Planeten gegen die Sonne hintreiben, verhalten ſich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernung von der Sonne, ein Geſetz, welches ſich wohl a priori vorausſehen ließ, da es für alle Wirkungen in die Ferne gilt, inſofern wir ſie von einem Punkte ausgehend betrachten können.

Wird einem Körper, welcher der Wirkung einer Kraft ausgeſetzt iſt, die ihn ſtets gegen einen und denſelben Punkt hintreibt, und deren Stärke im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung vom Centralpunkte ſteht, auf irgend eine Weiſe eine ſeitliche Geſchwindigkeit mitgetheilt, ſo muß er, wie ſich mit Hülfe höherer Rechnung nachweiſen läßt, eine Curve beſchreiben, welche nothwendig ein Kegelſchnitt iſt, und zwar hängt es von dem Verhältniß zwiſchen der Centripetalkraft und Tangentialkraft ab, ob die durchlaufene Curve eine Ellipſe, eine Parabel oder eine Hyperbel ſein wird. Bei den Planeten kommen nur elliptiſche Bahnen vor, während bei Kometen möglicherweiſe auch paraboliſche Bahnen vorkommen. Die kreisförmige Bewegung iſt nur ein ſpecieller Fall der elliptiſchen, da der Kreis als eine Ellipſe betrachtet werden kann, deren Excentricität Null iſt, deren beide Brennpunkte alſo in einem zuſammenfallen.

Da die Trabanten bei ihrem Umlauf um die entſprechenden Planeten gleichfalls die Kepler'ſchen Geſetze befolgen, ſo iſt klar, daß die Kräfte, mit welchen die Planeten ihre Trabanten anziehen, demſelben Geſetze unterworfen ſind, wie die Anziehungskraft, welche zwiſchen der Sonne und den Planeten wirkſam iſt.

88 **Die allgemeine Schwere.** Ueber den Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde nachdenkend, kam Newton auf die Idee, ob nicht vielleicht dieſelbe Kraft, welche den Stein zur Erde herabfallen macht, alſo das, was wir die Schwere nennen, weit über die Gränzen der Atmoſphäre hinaus, ja bis an den Mond reiche, daß nichts Anderes als die Schwere die Centralkraft ſei, welche den Mond in ſeiner Bahn um die Erde erhält.

Dieſe Idee läßt ſich leicht prüfen. Auf der Erdoberfläche iſt die beſchleunigende Kraft der Schwere (die Endgeſchwindigkeit der erſten Fallſecunde) gleich 9,8088 Meter. Der Mond iſt nun 60mal ſo weit von dem Centrum der Erde entfernt, als ein Punkt auf der Erdoberfläche; wenn alſo die Schwerkraft bis an den Mond reicht, ſo muß dort ihre beſchleunigende Kraft 60^2, alſo 3600mal geringer ſein als auf der Erdoberfläche, ſie wäre alſo $\frac{9{,}8088}{3600}$ $= 0{,}002724$ Meter.

Nun aber können wir die Größe der beſchleunigenden Kraft, welche wirklich den Mond nach der Erde hintreibt, aus dem Halbmeſſer ſeiner Bahn und ſeiner Umlaufszeit berechnen. Wir haben:

$$v = \frac{4\pi^2 r}{t^2} = \frac{2\pi r \,.\, 2\pi}{t^2}.$$

Der Umfang der Erde iſt 40 Millionen Meter, alſo iſt der Umfang der Mondsbahn, d. h. der Werth von $2\pi r$, welcher in obige Gleichung zu ſetzen iſt, gleich 40.60 oder 2400 Millionen Meter. Dieſen Weg legt der Mond in 27 Tagen 7 Stunden und 4 Minuten oder in 2360580 Secunden zurück; wir haben alſo:

$$v = \frac{2400000000 \,.\, 2 \,.\, 3{,}14}{2360580^2} = 0{,}002761 \text{ Meter.}$$

Wenn wir die kleine Differenz zwiſchen 0,002724 und 0,002761 vernachläſſigen, welche übrigens nur daher rührt, daß wir für die Entfernung und die Umlaufszeit des Mondes ſtatt der vollkommen genauen nur Näherungswerthe in Rechnung gebracht haben, ſo ſehen wir, daß ſich derſelbe Werth für die beſchleunigende Kraft ergiebt, welche den Mond zur Erde treibt, mögen wir nun dieſelbe aus den aſtronomiſchen Beobachtungen oder aus der Hypotheſe ableiten, daß die Schwerkraft auch noch auf den Mond wirke, daß ſie aber im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnehme, und dieſe Uebereinſtimmung iſt eben ein Beweis für die Richtigkeit dieſer Hypotheſe.

Newton hatte für den Erdhalbmeſſer, folglich auch für die Entfernung des Mondes (60 Erdhalbmeſſer), einen zu kleinen Werth in Rechnung gebracht und fand deshalb, von der Intenſität der Schwerkraft auf der Erde ausgehend, die Intenſität der Kraft, welche den Mond gegen die Erde treibt, größer, als die aus den aſtronomiſchen Beobachtungen abgeleitete. Der Unterſchied war von der Art, daß, in umgekehrter Ordnung aus der Mondsbewegung auf den Fall auf der Erdoberfläche ſchließend, der Fallraum der erſten Secunde nur 13 Fuß hätte betragen müſſen, während er in der That 15 Fuß iſt.

Dieſe Differenz war ſo groß, daß Newton ſelbſt ſeine Theorie ganz aufgab, d. h. er gab die Idee auf, daß die Centripetalkraft, welche bei der Mondsbewegung thätig iſt, mit der Schwere identiſch ſei.

Zwölf Jahre lang hatte er dieſen Gegenſtand vollſtändig liegen gelaſſen, als er im Juni des Jahres 1682 die Kunde von einer neuen in Frankreich durch Picard ausgeführten Gradmeſſung erhielt, nach welcher der Durchmeſſer der Erde größer, und zwar um $^1/_7$ größer war, als man nach früheren, weniger genauen Meſſungen angenommen hatte. Alsbald nahm er ſeine alten Rechnungen wieder vor und hatte nun die Freude, ſeine ſchon aufgegebene Theorie aufs Vollſtändigſte beſtätigt zu ſehen.

Die Sonne zieht die Planeten, die Planeten aber ziehen ihre Satelliten an, und die Kraft, welche die Monde gegen ihre Planeten hintreibt, iſt identiſch mit der Schwerkraft, welche alle Körper niederzieht, die ſich auf der Oberfläche

der Planeten befinden. Das Geſetz dieſer Anziehung, welches unſer ganzes Planetenſyſtem beherrſcht, läßt ſich in folgender Weiſe ausſprechen:

Je zwei materielle Moleküle ziehen ſich mit einer Kraft an, welche ihren Maſſen direct und dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt proportional iſt.

Bezeichnet man mit m und m' die Maſſen der beiden Moleküle, mit r ihre Entfernung, ſo iſt alſo ihre gegenſeitige Anziehung gleich:

$$f\frac{m \cdot m'}{r^2},$$

wo f ein conſtanter Factor iſt.

Das Gewicht eines Körpers auf der Oberfläche eines Planeten iſt die Reſultirende aller Anziehungen, welche ſämmtliche Moleküle, aus denen der Planet zuſammengeſetzt iſt, auf den fraglichen Körper ausüben. Dieſe Reſultirende iſt ſtets gegen den Mittelpunkt des Planeten hin gerichtet, inſofern man ihn als vollkommen kugelförmig betrachtet und alſo von ſeiner Abplattung abſtrahirt. Für dieſen Fall wirkt auch die Geſammtanziehung eines Planeten in die Ferne ſowohl wie auf einen Körper, welcher ſich auf ſeiner Oberfläche befindet, gerade ſo, als ob die ganze Maſſe des Planeten ſich in ſeinem Mittelpunkte befände. Bezeichnen wir alſo mit m die Maſſe, mit ϱ den Halbmeſſer eines Planeten, ſo iſt die Kraft, mit welcher die Einheit der Maſſe auf der Oberfläche des Planeten gegen den Mittelpunkt hingezogen wird:

$$V = f\frac{m}{\varrho^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Die Geſchwindigkeit, alſo auch die Beſchleunigung, mit welcher ein Körper auf der Planetenoberfläche fällt, iſt von ſeiner Maſſe unabhängig, ſie iſt gleich der Geſchwindigkeit und der Beſchleunigung, mit welcher die Maſſeneinheit fällt, ſie iſt alſo:

$$g = h\frac{m}{\varrho^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

wo h einen conſtanten Factor bezeichnet, deſſen nähere Beſtimmung für uns jetzt kein Intereſſe hat.

Betrachtet man die Bewegung eines Planeten, ſo iſt ſtreng genommen der Mittelpunkt der Sonne kein feſter Punkt, ſondern der Planet ſowohl als auch die Sonne ſelbſt beſchreiben eine Ellipſe um den gemeinſchaftlichen Schwerpunkt, welcher aber ſtets dem Mittelpunkte der Sonne ſehr nahe liegt, weil die Maſſe der Planeten nur ein höchſt unbedeutender Bruchtheil der Sonnenmaſſe iſt; bezieht man aber die Bewegung des Planeten auf den Mittelpunkt der Sonne, indem man denſelben als feſt betrachtet, ſo iſt ſeine Bahn gleichfalls eine elliptiſche.

Es ſei M die Maſſe der Sonne, m die Maſſe eines Planeten und R der Abſtand beider von einander, ſo iſt die beſchleunigende Kraft, welche den Planeten gegen den gemeinſchaftlichen Schwerpunkt treibt:

$$G = h\frac{M}{R^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

während die Sonne gegen denselben Schwerpunkt mit einer Beschleunigung:

$$\Gamma = h\,\frac{m}{R^2}$$

hingetrieben wird. Letztere Größe kann man aber als verschwindend klein gegen die erstere betrachten, so daß also G das Maß der Beschleunigung ist, mit welchem der Planet um die Sonne gravitirt. Ebenso ist:

$$G' = h\,\frac{m}{r^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

der Werth der Beschleunigung, mittelst deren ein Satellit um seinen Planeten kreist, wenn r die Entfernung beider bezeichnet und die Masse des Trabanten im Vergleich zur Masse m des Planeten als verschwindend klein betrachtet werden kann.

Masse der Sonne und der Planeten. Die Formeln, welche wir 89
im vorigen Paragraphen kennen lernten, geben uns ein Mittel an die Hand, die Masse der Planeten, welche Satelliten haben, mit der Masse der Sonne zu vergleichen.

Für die beschleunigende Kraft, unter deren Einfluß ein Planet um die Sonne kreist, haben wir auch den Werth:

$$G = \frac{4\,\pi\,R}{T^2},$$

wenn R, wie oben, der Halbmesser der Planetenbahn und T seine Umlaufszeit ist.

Wenn wir diesen Werth von G dem Werthe bei 3) gleichsetzen, so kommt:

$$\frac{4\,\pi\,R}{T^2} = h\,\frac{M}{R^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 5)$$

In gleicher Weise erhalten wir zwei Ausdrücke für die beschleunigende Kraft, unter deren Einfluß der Satellit um seinen Planeten kreist, und wenn wir beide gleich setzen:

$$\frac{4\,\pi\,r}{t^2} = h\,\frac{m}{r^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6)$$

wenn t die Umlaufszeit des Trabanten und r seine Entfernung vom Mittelpunkte des Planeten bezeichnet.

Dividirt man die Gleichung 5) durch Gleichung 6), so kommt:

$$\frac{R\,t^2}{r\,T^2} = \frac{M}{m}\cdot\frac{r^2}{R^2}$$

und endlich:

$$\frac{M}{m} = \frac{R^3\,t^2}{r^3\,T^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7)$$

Nehmen wir die Entfernung des Mondes von der Erde zur Längeneinheit, so ist $r = 1$ und $R = 400$.

Die Umlaufszeit des Mondes um die Erde beträgt 39343, die der Erde

um die Sonne beträgt 525950 Minuten. Setzen wir nun in Gleichung 7) $t = 39343$ und $T = 525950$ und außerdem für R und r die obigen Zahlenwerthe, so kommt:

$$\frac{M}{m} = 358120,$$

d. h. die Masse der Sonne ist 358120mal so groß als die Masse der Erde. Dieser Zahlenwerth ist jedoch nur eine erste Annäherung an das wahre Verhältniß. Wenn man für Umlaufszeiten und Entfernungen die ganz genauen Werthe setzt und die Masse der Erde nicht gegen die der Sonne, die Masse des Mondes nicht gegen die der Erde vernachlässigt, wie es bei obiger Berechnung geschehen ist, so ergiebt sich für die Masse der Sonne:

$$M = 355000,$$

wenn man die Masse der Erde als Einheit nimmt.

Die Umlaufszeit t' des äußersten Jupitertrabanten ist 24032 Minuten, seine Entfernung vom Mittelpunkte des Jupiter ist 27 Jupitershalbmesser oder, in Mondabständen ausgedrückt, $r' = 5{,}2$. Bezeichnen wir also mit m' die Masse des Jupiter, so haben wir:

$$\frac{m'}{m} = \frac{r'^3 t^2}{r^3 t'^2}$$

und wenn wir für r, r', t und t' ihre Zahlenwerthe setzen:

$$\frac{m'}{m} = 376.$$

Auch dieser Werth ist nur eine erste Annäherung, der genaue Werth der Jupitersmasse ist 340, wenn man die Masse der Erde zur Einheit nimmt.

Nach derselben Methode findet man, daß die Masse des Saturn 102mal, die des Uranus 14,5mal so groß ist als die Masse der Erde.

Es ist bereits oben der wahre Durchmesser der Sonne und der Planeten angegeben worden, und daraus läßt sich dann leicht ihr Volumen berechnen. Setzt man das Volumen der Erde gleich 1, so ergiebt sich das Volumen der Sonne, des Jupiter, des Saturn und des Uranus, wie es die zweite Columne der folgenden Tabelle angiebt.

	Volumen.	Masse.	Dichtigkeit.
Erde	1	1	1
Sonne	1409725	355500	0,252
Jupiter	1491	340	0,227
Saturn	772	102	0,131
Uranus	86,5	14,5	0,167

Die dritte Columne dieſer Tabelle enthält die eben beſprochenen Werthe für die Maſſen der genannten Himmelskörper. Man ſieht nun ſogleich, daß die Maſſen dem körperlichen Inhalte keineswegs proportional bleiben; während z. B. der cubiſche Inhalt des Jupiter 1491mal größer iſt als der der Erde, ſo iſt die Maſſe des Jupiter doch nur 340mal ſo groß als die Maſſe der Erde, es iſt alſo klar, daß Jupiter weniger dicht ſein muß als die Erde.

Dividirt man die Zahlen der dritten Columne durch die entſprechenden Zahlen der zweiten, ſo findet man die Werthe der Dichtigkeit, wie ſie in der letzten Verticalreihe aufgeführt ſind. Die Sonne iſt alſo nahezu 4mal weniger dicht als die Erdmaſſe; der Jupiter iſt nicht ganz ſo dicht wie die Sonne, noch weit weniger dicht aber ſind Saturn und Uranus.

Dichtigkeit der Erde. Wir haben eben die Dichtigkeit der Sonne 90
und mehrerer Planeten nur mit der mittleren Dichtigkeit der Erde verglichen, wir wollen nun ſehen, auf welche Weiſe man die Maſſe und die Dichtigkeit der Erdkugel ſelbſt beſtimmen kann.

Ein Bleiloth, welches in einer vollkommen ebenen Gegend im Freien aufgehängt wird, iſt ſtets gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet; wenn ſich aber auf einer Seite des Bleilothes eine bedeutende, über die Ebene hervorragende Maſſe, etwa ein Gebirgszug, befindet, ſo wird dieſe gleichfalls anziehend auf die Kugel des Lothes wirken und eine Ablenkung deſſelben aus der Verticalen veranlaſſen.

In gleicher Weiſe wird auch die Nähe von Gebirgen eine Abweichung der freien Oberfläche der Gewäſſer von der wahren Horizontalen bewirken, da ja dieſelbe ſtets rechtwinklig auf der Richtung des Bleilothes ſteht.

Bouguer war der Erſte, welcher die Idee hatte, in der Anziehung der Gebirge einen Beweis für die allgemeine Anziehung der Materie zu ſuchen. Er ſtellte ſeine Verſuche an den Abhängen des Chimboraſſo an und fand eine Ablenkung des Bleilothes von 7″ bis 8″. Daß bei der bedeutenden Ausdehnung des Gebirges keine größere Ablenkung gefunden wurde, rührt wahrſcheinlich daher, daß ſich große Höhlungen im Inneren jener vulcaniſchen Berge befinden.

Sehen wir nun zunächſt, wie man im Stande iſt, eine Ablenkung des Bleilothes von der Verticalen (d. h. von der nach dem Mittelpunkte der Erde gerichteten Geraden) nachzuweiſen.

An unſeren aſtronomiſchen Höhenkreiſen beſtimmen wir die Richtung der Horizontalen mit Hülfe der Waſſerwage, folglich fällt die Richtung des Zeniths, wie ſie uns der Höhenkreis angiebt, zuſammen mit der Richtung des Bleilothes. Die durch den Höhenkreis gemeſſene Zenithdiſtanz eines Geſtirnes iſt der Winkel, welchen die nach dem Sterne gerichtete Viſirlinie mit der Richtung des Bleilothes macht.

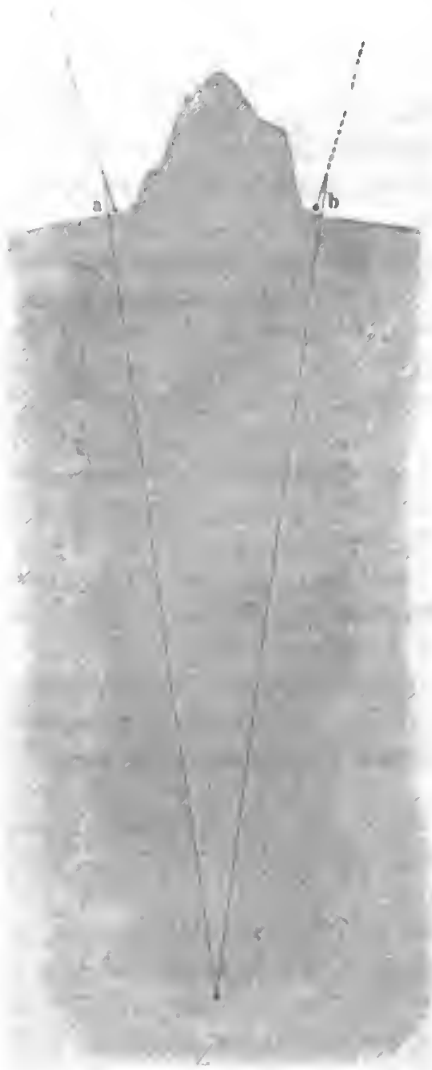
Wenn man nun an zwei Orten a und b, Fig. 146 (a. f. S.), welche auf demſelben Erdmeridian liegen, die Zenithdiſtanz eines und deſſelben Fixſternes zur Culminationszeit beſtimmt, ſo iſt der Unterſchied der beiden Zenithdiſtanzen

der Winkel, welchen die Richtung des Bleilothes in *a* mit der Richtung des Bleilothes in *b* macht.

So fanden Maskelyne und Hutton im Jahre 1772, daß die Bleilothe zweier Orte *a* und *b* desselben Meridians, von denen die eine auf dem nördlichen, die andere am südlichen Abhange des Berges Schehallien lag, einen Winkel von 53 Bogensecunden mit einander machten.

Durch geodätische Messungen wurde aber ferner ermittelt, daß *a* 3900 Fuß nördlich von *b* lag. Da für Schottland die Länge eines Breitengrades ungefähr 342500 Fuß beträgt, so entspricht jene Länge von 3900 Fuß einem Bogen von 41″, d. h. aus der geodätischen Messung folgt, daß *a* um 41″ nördlich von *b* liegt, oder mit anderen Worten, daß die Verticale von *a* mit der Verticalen von *b* einen Winkel von 41 Secunden macht.

Fig. 146.



Der Winkel, welchen die Bleilothe von *a* und *b* mit einander machen, ist also um 12″ größer als der Winkel der Verticalen beider Orte; die Bleilothe von *a* und *b* sind also nicht gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet, sie sind durch den Einfluß des Berges von der Verticalen abgelenkt, und zwar beträgt die Summe der Ablenkungen der Bleilothe in *a* und *b* 12″.

Durch eine genaue Vermessung des Berges wurde nun das Volumen des Gebirges bestimmt, woraus sich dann auch die Masse desselben mit annähernder Genauigkeit berechnen ließ, da ja das specifische Gewicht des Gesteins bekannt ist, aus welchem es besteht.

Aus der Ablenkung des Bleilothes ergiebt sich aber ferner, in welchem Verhältniß die anziehende Kraft des Berges zur Gesammtanziehung der Erde steht, und da die Masse des Berges bekannt ist, so läßt sich daraus auch auf die Masse und die mittlere Dichtigkeit der ganzen Erdkugel schließen.

Maskelyne ermittelte auf diesem Wege, daß die mittlere Dichtigkeit der Erde 4,71 sei, ein Resultat, welches der Wahrheit schon sehr nahe kam.

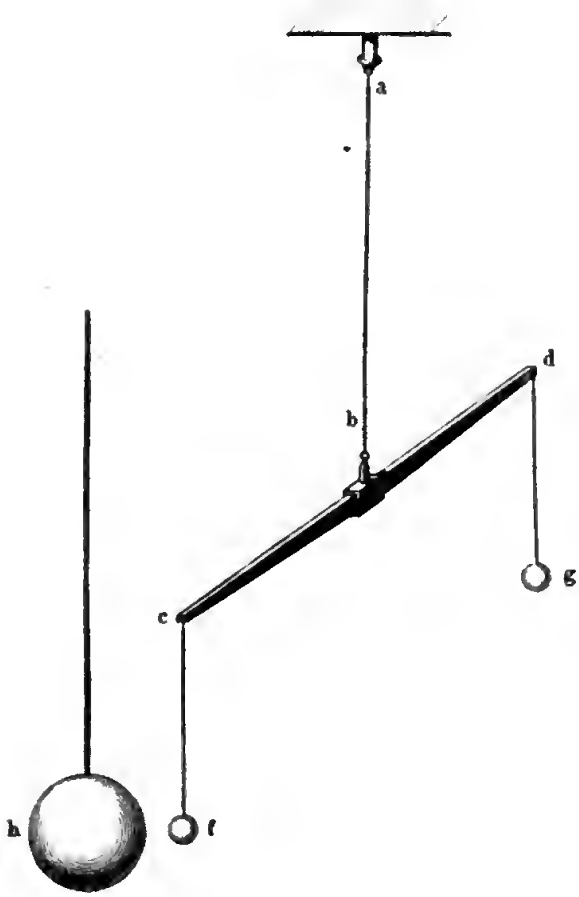
Wir begnügen uns hier, die Methode nur anzudeuten, welche Maskelyne

anwandte, um die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen, und zwar um so mehr, da die Berechnung auf diesem Wege eine ziemlich schwierige ist, ohne deshalb so genaue Resultate liefern zu können, wie die Methode, welche im nächsten Paragraphen besprochen werden soll.

Anwendung der Drehwage zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde. 91 Ein englischer Physiker, Michell, construirte eine Drehwage, mit deren Hülfe er die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen gedachte; er starb aber, ehe er zur Anstellung der Versuche kam, welche erst nach seinem Tode von Cavendish ausgeführt wurden. Der Grundgedanke des Apparates ist folgender:

An einem dünnen Metalldraht ab, Fig. 147, hängt ein horizontaler, gleicharmiger Hebel cd, welcher an seinen Enden die Kugeln f und g trägt. Dem Einfluß aller störenden Kräfte entzogen, wird die ganze Vorrichtung eine solche Stellung annehmen, daß der Draht ab ohne Torsion ist.

Fig. 147.



Bringt man nun neben der Kugel f eine Kugel h von bedeutender Masse an, so wird h anziehend auf f wirken, und dadurch wird der horizontale Hebel cd um einen Winkel aus seiner früheren Gleichgewichtslage heraus gedreht, welcher der anziehenden Kraft k proportional ist, mit welcher die Kugeln h und f gegenseitig auf einander wirken.

Die Größe dieser Kraft k läßt sich aber berechnen, wenn man die Schwingungszeit kennt, mit welcher der horizontale Hebel cd um seine Gleichgewichtslage oscillirt, sobald er auf irgend eine Weise aus derselben herausgebracht worden ist.

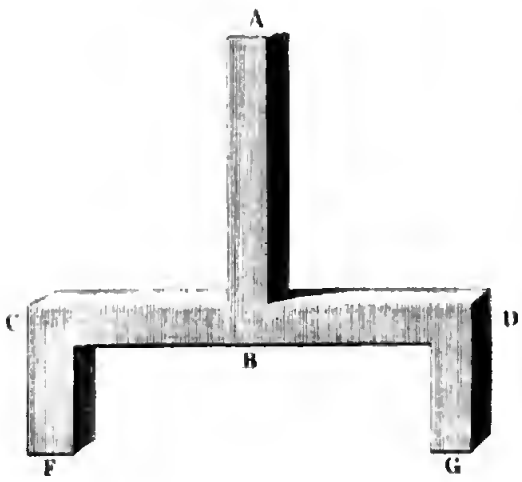
Aus dem Verhältniß der Kraft k zu dem Gewichte m der Kugel f (der

Kraft, mit welcher die ganze Erdkugel die Kugel f anzieht) ergiebt ſich dann das Verhältniß zwiſchen der leicht zu ermittelnden Maſſe M der Kugel h und der Maſſe Q der Erdkugel.

Es kommt alſo vor allen Dingen darauf an, die Ablenkung des horizontalen Hebels durch die Einwirkung der Kugel h, ſowie die Schwingungszeit des horizontalen Pendels cd mit möglichſter Genauigkeit zu ermitteln; jeder Luftzug wirkt aber ſtörend ſowohl auf die Ablenkung als auf die Schwingungszeit, und deshalb muß die ganze Vorrichtung in ein möglichſt enges Gehäuſe eingeſchloſſen und an einem Orte aufgeſtellt ſein, an welchem möglichſt wenig Temperaturſchwankungen ſtattfinden.

Das hölzerne Gehäuſe, welches die Drehwage einſchließt, hat ungefähr die Geſtalt von Fig. 148. In AB befindet ſich der Aufhängedraht, CD ſchließt den horizontalen Hebel ein und in den vertiealen Armen CF und DG befinden ſich die Kugeln f und g mit ihren Aufhängedrähten. Das Ganze iſt nur ſo weit, daß dem Hebel cd der nöthige Spielraum für die kleine, durch h hervorgebrachte Ablenkung und die kleinen Schwingungen bleibt.

Fig. 148.



An einigen Stellen iſt die Wand des Gehäuſes durchbrochen, die Oeffnungen aber ſind dann wieder durch Platten von Spiegelglas geſchloſſen, durch welche hindurch man den Hebel und ſeine Oſeillationen beobachten kann.

Cavendiſh wandte außer der ablenkenden Maſſe h noch eine zweite, neben der Kugel g hängende an, welche die Wirkung der erſteren unterſtützt; aus ſeinen, nach der eben angedeuteten Methode angeſtellten Verſuchen ergab ſich für die mittlere Dichtigkeit der Erde der Werth 5,48 oder nach Hutton's Reviſion der Rechnungen 5,32.

Im Jahre 1837 ſtellte F. Reich neue Verſuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelſt der Drehwage an. Eine weſentliche Verbeſſerung des Apparates erzielte er dadurch, daß er ihn mit einer Poggendorff'ſchen Spiegelvorrichtung verſah, welche auch Gauß mit ſo großem Vortheil bei ſeinem Magnetometer angewandt hatte. Der Spiegel war am unteren Ende des Aufhängedrahtes bei b, Fig. 147, angebracht. Die ganze Drehwage war an der Decke eines Kellers aufgehängt und die Scala durch eine Lampe mittelſt eines Hohlſpiegels erleuchtet.

Die Größen, deren Kenntniß zur Berechnung der Masse und Dichtigkeit der Erde nothwendig sind, waren beim Reich'schen Apparat:

Abstand des Aufhängepunktes der Kugeln f und g von der Mitte des Hebels . . . . . $r = 100{,}1^{cm}$
Jede der Kugeln f und g wog . . . . . $m = 484{,}2^{gr}$
Das auf den Aufhängepunkt der Kugel reducirte Gewicht des halben Hebels sammt dem Gewichte der Aufhängevorrichtung . . . . . $m' = 34{,}7^{gr}$
Abstand der Scala vom Spiegel . . . . . $\mu = 4523^{mm}$
Gewicht der ablenkenden Kugel h . . . . . $M = 45006^{gr}$

Diese Kugel h war aus Blei verfertigt, während die Kugeln f und g aus einer Composition von Blei und Wismuth bestanden.

Ferner ist:

Der Halbmesser der Erde . . . . . $R = 636462400^{cm}$
Die Länge des Secundenpendels für Freiberg . . . $l = 99{,}4^{cm}$

Bei einer der von Reich angestellten Beobachtungsreihen ergaben sich folgende Resultate:

Der Abstand des Mittelpunktes der Kugel h vom Mittelpunkt der Kugel f war . . . . . $E = 17^{cm}$
Die auf der Scala abgelesene Ablenkung der Drehwage $B = 7{,}156^{mm}$
Die Schwingungszeit der Drehwage . . . . . $t = 405''$.

Aus diesen Daten läßt sich nun die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde in folgender Weise berechnen.

Bei den Schwingungen der Drehwage hat die Elasticität des Drahtes eine träge Masse in Bewegung zu setzen, deren Trägheit gerade so wirkt, als ob am Ende des Hebels eine Masse $2(m+m')$, in unserem Falle also eine Masse von 1038 Gramm angehängt wäre.

Nun aber wirkt die ablenkende Kraft der Kugel h nur auf die kleine Kugel f. Hätte die Elasticität des Aufhängedrahtes nur diese eine Kugel f in Bewegung zu setzen gehabt, deren Gewicht $m = 484{,}2$ Gramm beträgt, so würden die Schwingungen schneller gewesen sein, und zwar würde die Schwingungszeit im Verhältniß von $\sqrt{2(m+m')}$ zu $\sqrt{m}$ abgenommen haben, kurz die Schwingungszeit t' würde sein:

$$t' = t\,\frac{\sqrt{m}}{\sqrt{2\,(m+m')}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

in unserem Falle also:

$$t' = 405\sqrt{\frac{484}{1038}} = 276{,}55''.$$

Dies ist also die Schwingungszeit eines einfachen, 100,1 Centimeter langen Pendels, welches unter dem Einfluß der Elasticität des Aufhängedrahtes schwingt.

Für ein einfaches Pendel von gleicher Länge, welches unter dem Einfluß der Schwere ſchwingt, würde die Schwingungszeit geweſen ſein:

$$t'' = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{l}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

in unſerem ſpeciellen Falle:

$$t'' = \frac{\sqrt{100{,}1}}{\sqrt{99{,}4}} = 1{,}0035 \text{ Secunden.}$$

Für zwei gleichlange einfache Pendel verhalten ſich aber bei gleichem Ausſchlagswinkel die beſchleunigenden Kräfte, welche die Kugel in die Gleichgewichtslage zurücktreiben, umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Bezeichnen wir die beſchleunigende Kraft, mit welcher die Elaſticität des Aufhängedrahtes die Drehwage in ihre Gleichgewichtslage zurückzuführen ſtrebt, mit k, mit K aber die Kraft, mit welcher die Kugel eines gewöhnlichen Pendels gegen ſeine Gleichgewichtslage getrieben wird, ſo haben wir:

$$k : K = t''^2 : t'^2,$$

alſo:

$$k = K \frac{t''^2}{t'^2}$$

oder:

$$k = K \cdot \frac{r}{l \cdot t^2} \cdot \frac{2(m+m')}{m} \quad \ldots\ldots \quad 3)$$

wenn man für t' und für t'' ihre Werthe bei 1) und 2) ſetzt. Setzt man für t' und t'' die für unſeren ſpeciellen Fall berechneten Zahlenwerthe, ſo kommt:

$$k = \frac{K}{75945}.$$

Durch den Einfluß der Kugel h wird die Drehwage um B Theilſtriche der Scala abgelenkt; wenn wir alſo mit x den Ablenkungswinkel bezeichnen, ſo iſt:

$$\sin. x = \frac{B}{2\mu}.$$

Wenn ein gewöhnliches einfaches Pendel um den Winkel x aus ſeiner Gleichgewichtslage entfernt wird, ſo iſt die Kraft K, welche die Kugel nach ihrer Gleichgewichtslage zurücktreibt, gleich $m \cdot \sin. x$, wenn m das Gewicht der Kugel iſt: ſetzen wir für $\sin. x$ den eben gefundenen Werth, ſo haben wir:

$$K = \frac{m \cdot B}{2\mu} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

alſo in unſerem ſpeciellen Fall, wenn für m, B und μ die oben angegebenen Zahlenwerthe geſetzt werden:

$$K = 0{,}3832 \text{ Gramm.}$$

Demnach iſt auch

$$k = \frac{B \cdot r \cdot (m+m')}{\mu \cdot l \cdot t^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 5)$$

oder für unſeren ſpeciellen Fall ergiebt ſich für k der Zahlenwerth:

$$k = 0{,}0000050467 \text{ Gramm.}$$

Dies ist also die Kraft, mit welcher die Kugel f durch die Kugel h auf die Seite gezogen wird, während die Kraft, mit welcher die Kugel f durch die gesammte Erde angezogen wird, gleich m ist. Denken wir uns nun die Masse M der Kugel h, sowie die Masse Q der ganzen Erde in den entsprechenden Mittelpunkten vereinigt, so haben wir zur Berechnung der Masse Q die Gleichung:

$$m : k = \frac{Q}{R^2} : \frac{M}{E^2}$$

und daraus:

$$Q = \frac{m \,.\, M \,.\, R^2}{E^2 k} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6)$$

oder wenn man für k seinen oben bei 5) angegebenen Werth setzt:

$$Q = \frac{m \,.\, M \,.\, R^2 \mu \, l \, t^2}{E^2 \,.\, B \,.\, r(m+m')}$$

Setzen wir aber in Gleichung 6) für k, m, M, R und E die früher angegebenen Zahlenwerthe, so finden wir für die Masse der Erde den Werth:

$$Q = 5\,914\,500\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ Gramm}$$

oder:

118000 Trillion Centner.

Die mittlere Dichtigkeit der Erde findet man, wenn man die Masse Q durch das Volum der Erde, also durch $\frac{4}{3}\pi R^3$ dividirt; man findet alsdann:

$$D = \frac{3\,Q}{4\pi R^3} = \frac{3\,M \,.\, \mu l}{4\pi R \,.\, r} \cdot \frac{m}{m+m'} \cdot \frac{t^2}{E^2 B} \quad \ldots\ldots \quad 7)$$

und wenn man für die Buchstaben ihre Zahlenwerthe substituirt:

$$D = 5{,}476.$$

Aus einer großen Reihe von Versuchen, welche Reich im Jahre 1837 anstellte, fand er als Mittel, mit Berücksichtigung aller nothwendigen Correctionen den Werth:

$$D = 5{,}44.$$

(F. Reich, Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage. Freiberg 1838.)

Im Jahre 1843 publicirte Baily in London die Resultate einer großen Reihe von Versuchen, welche er im Auftrage der Royal Astronomical Society nach der Methode von Cavendish angestellt hatte.

Er fand die mittlere Dichtigkeit der Erde:

$$D = 5{,}66.$$

Nach dem Bekanntwerden dieses Resultates wiederholte auch Reich seine Versuche, nachdem er einige Verbesserungen in seinem Apparate angebracht hatte, und fand:

$$D = 5{,}58.$$

(Abhandlungen der mathematisch-physikalischen Classe der königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. Erster Band. 1852. S. 385.)

Dichtigkeit der Weltkörper verglichen mit der des Wassers. 92

Nehmen wir aus den im vorigen Paragraphen besprochenen Resultaten das

Mittel, so ergiebt sich, daß die mittlere Dichtigkeit der Erde 5,5mal so groß ist als die des Wassers.

Da nun das specifische Gewicht der Felsmassen, welche die feste Erdrinde bilden, kaum halb so groß ist, so müssen wir schließen, daß das Innere der Erde aus Körpern von größerem specifischen Gewichte bestehe, daß die Erde einen metallischen Kern habe.

Verglichen mit Wasser, ist die Dichtigkeit

der Sonne	1,38
des Jupiter	1,25
des Saturn	0,72
des Uranus	0,92.

Die mittlere Dichtigkeit der Sonne ist also ungefähr die des Buxbaumes, die mittlere Dichtigkeit des Jupiter ist der des Ebenholzes gleich, während Saturn und Uranus in ihrer Dichtigkeit dem Nußbaume und Ahornholz nahe stehen.

Der Vollständigkeit wegen folgt hier noch, die Erde zur Einheit genommen, die Masse und Dichtigkeit der drei übrigen Hauptplaneten, welche keine Trabanten haben, deren Masse also auf anderem Wege bestimmt werden muß, als der ist, den wir in §. 89 kennen lernten.

	Volumen.	Masse.	Dichtigkeit.
Mercur. . .	0,059	0,073	1,225
Venus . . .	0,996	0,885	0,908
Mars . . .	0,136	0,132	0,972

Setzen wir die Dichtigkeit des Wassers gleich 1, so ist die Dichtigkeit

des Mercur	6,7
der Venus	5,0
des Mars	5,3.

Unter allen Planeten ist also Mercur der dichteste, nach ihm die Erde. Mars und Venus stehen der Erde in Beziehung auf mittlere Dichtigkeit sehr nahe.

93 **Grösse der Schwerkraft auf der Oberfläche der Sonne und der Planeten.** Nach §. 88 ist $V = f\frac{m}{\varrho^2}$ das Maß für die Schwerkraft auf der Oberfläche eines Weltkörpers, wenn ϱ den Halbmesser und m die Masse desselben bezeichnen.

Setzen wir die Schwerkraft auf der Oberfläche der Erde gleich 1; nehmen wir ferner die Masse der Erde zur Masseneinheit, den Radius derselben zur Längeneinheit, so wird auch $f = 1$, und wir haben alsdann für die Schwerkraft auf der Oberfläche irgend eines anderen Weltkörpers

$$V = \frac{m}{\varrho^2},$$

wenn m und ϱ in den eben bezeichneten Einheiten ausgedrückt werden. So ist der Radius des Jupiter 11,5mal so groß als der Erdhalbmesser, und die Masse des Jupiter ist 340mal so groß als die Masse der Erde; folglich ist für Jupiter

$$V = \frac{340}{11{,}5^2} = 2{,}57.$$

Auf diese Weise ergeben sich für die Sonne, den Mond und die Planeten folgende Werthe für die Schwerkraft auf ihrer Oberfläche:

Namen der Himmelskörper.	Schwere auf der Oberfläche.	Fallraum der ersten Secunde.
Sonne	28,30	424,5 Fuß
Mercur	1,15	17,2 »
Venus	0,91	13,6 »
Erde	1,00	15,0 »
Mars	0,50	7,5 »
Jupiter	2,57	38,5 »
Saturn	1,09	16,3 »
Uranus	1,05	15,7 »
Mond	0,16	2,4 »

Die Masse eines Centners, auf die Oberfläche der Sonne gebracht, wird also dort auf ihre Unterlage einen Druck ausüben, welcher gleich ist dem Druck von 28,3 Centnern auf der Erdoberfläche, während dagegen auf dem Monde die gleichen Massen nahezu 5mal weniger stark auf ihre Unterlage drücken als auf der Erde. Es würde ungefähr gleiche Anstrengung erfordern, um auf der Erde die Masse von 50 Pfunden, auf der Sonne die Masse von 2 Pfunden oder auf dem Monde die Masse von 250 Pfunden zu tragen.

Die Störungen. Nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz ist die 94
Sonne, wie dies bereits angedeutet wurde, nicht mehr ein absolut fester Punkt, und wäre außer der Sonne nur noch ein einziger Planet vorhanden, so würde der Planet sowohl wie die Sonne um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt eine Ellipse beschreiben. Dieser gemeinschaftliche Schwerpunkt wird dem Mittelpunkte der Sonne um so näher liegen, je kleiner die Masse des Planeten im Vergleich zu dem der Sonne ist, so daß also die Ellipse, welche der Mittelpunkt der Sonne zu beschreiben hätte, sehr klein wäre im Vergleich zu der vom Planeten beschriebenen. Mag man aber die Bewegung des Planeten nun auf den gemeinschaftlichen Schwerpunkt oder auf den Mittelpunkt der Sonne beziehen, so würde seine Bahn eine rein elliptische sein, so lange nur ein einziger Planet die Sonne umkreiste.

So verhält sich aber die Sache nicht. Die Sonne wird von vielen Pla-

neten umkreiſt, und jeder dieſer Planeten wird nicht allein von der Sonne, ſondern zugleich von allen übrigen angezogen. Daraus folgt nun, daß die Bewegung eines jeden Körpers im Planetenſyſteme weit verwickelter iſt, als wir bisher angenommen haben. Weil aber die Maſſe der Sonne die Maſſe der Planeten ſo bedeutend übertrifft, ſo iſt die wahre Bahn jedes Planeten doch nur ſehr wenig von der elliptiſchen abweichend, wie ſie ſein würde, wenn der ſtörende Einfluß der übrigen Planeten nicht vorhanden wäre.

Die Kepler'ſchen Geſetze ſind demnach nur als Annäherungsgeſetze zu betrachten, welche nahezu die wahre Bewegung der Planeten darſtellen, aber doch noch Differenzen von derſelben zeigen, welche glücklicherweiſe nicht groß genug waren, um Kepler an der Auffindung ſeiner einfachen Geſetze zu hindern.

Die Anziehungen, welche ein Planet von Seiten aller übrigen erfährt, werden ihn alſo nur ſehr wenig von der elliptiſchen Bahn entfernen, welche er ohne dies verfolgen würde; die Modificationen, welche auf dieſe Weiſe in der Planetenbewegung hervorgebracht werden, nennt man Störungen (Perturbationen).

Um die Unterſuchung dieſer verwickelten Bewegung zu erleichtern, nimmt man einen eingebildeten (fictiven) Planeten an, welcher ſich in einer elliptiſchen Bahn bewegt, deren Elemente eine allmälige Aenderung erleiden, während dann der wahre Planet bald auf der einen, bald auf der anderen Seite dieſes fictiven Planeten oſcillirt, ohne ſich zu weit von demſelben zu entfernen.

Die allmäligen Veränderungen in den Elementen der elliptiſchen Bewegung des fictiven Planeten nennt man ſeculare Störungen, die Oſcillationen des wahren Planeten aber auf die eine oder andere Seite des fictiven werden periodiſche Störungen genannt. Die allmälige Aenderung der Schiefe der Ekliptik, das langſame Fortrücken des Periheliums der Planeten ſind ſolche ſeculare Störungen, welche die Beobachtung nachgewieſen hat und von welchen die Theorie der allgemeinen Schwere vollſtändige Rechenſchaft giebt.

Eines der merkwürdigſten Reſultate, zu denen man geführt wurde, indem man die Störungen der Planetenbahnen zu berechnen ſuchte, iſt das, daß die großen Axen der elliptiſchen Bahnen, auf welchen ſich die fictiven Planeten bewegen, ſtets dieſelben Werthe beibehalten. Die ſecularen Störungen afficiren alle Elemente der elliptiſchen Bewegung mit Ausnahme der großen Axe, welche ſtets dieſelbe bleibt. Da die Umlaufszeit eines Planeten durch das dritte Kepler'ſche Geſetz mit der Länge der großen Axe verknüpft iſt, ſo hat die Unveränderlichkeit der großen Axe auch die Unveränderlichkeit der Umlaufszeit zur Folge.

Die Excentricität und die Neigung der Planetenbahnen erleiden allmälig fortſchreitende Veränderungen. Obgleich nun aber dieſe Aenderungen Jahrhunderte hindurch in demſelben Sinne vor ſich gehen, ſo ſind ſie dennoch periodiſch, wenngleich dieſe Perioden von ſehr langer Dauer ſind, ſo daß weder die Excentricitäten noch die Neigungen der Planetenbahnen über gewiſſe ziemlich enge Gränzen hinaus ab- oder zunehmen.

In der Geſammtheit der eben angedeuteten Reſultate in Betreff der gro-

ßen Axen, der Excentricitäten und der Neigungen der Planetenbahnen besteht das, was man die Stabilität des Weltsystemes nennt.

Die Störungen, welche ein Planet auf die übrigen und namentlich auf diejenigen ausübt, deren Bahnen der seinigen zunächst liegen, sind natürlich von ihrer Masse abhängig, und so kommt es, daß man aus den durch einen Planeten erzeugten Störungen auf eine Masse schließen kann. Dies ist nun auch der einzige Weg, auf welchem sich die Masse derjenigen Planeten ermitteln läßt, welche nicht von Trabanten umkreist sind. Es ist begreiflich, daß die aus den Störungen abgeleiteten Werthe der Massen der Planeten nicht den Grad der Genauigkeit haben wie diejenigen, welche man aus Vergleichung ihrer Trabanten berechnet.

Entdeckung des Neptun. Bouvard fand 1821, daß die von 95
Herschel gemachten Beobachtungen des Uranus sich nicht mit denjenigen Bahnelementen in Uebereinstimmung bringen ließen, welche sich aus den Beobachtungen von 1781 bis 1820 ergeben; aber auch später wich Uranus wieder merklich von der Bahn ab, welche er nach den von Bouvard berechneten Tafeln hätte durchlaufen sollen. Aus den Beobachtungen von 1833 bis 1834 hat Airy nachgewiesen, daß der Radius Vector für diese Jahre von den Tafeln um eine Größe abweiche, welche die Entfernung des Mondes von der Erde übertrifft.

Daraus ergiebt sich nun, daß die Bahnelemente des Uranus verschieden ausfallen, je nachdem man sie aus verschiedenen Beobachtungsperioden ableitet.

Schon Bouvard zeigte, daß sich diese Abweichungen nicht auf die von Jupiter und Saturn herrührenden Störungen zurückführen ließen, und daß man zu ihrer Erklärung einen noch jenseits des Uranus um die Sonne kreisenden Planeten annehmen müsse.

Mädler sagte in dieser Beziehung schon in der ersten Auflage seiner »populären Astronomie«, welche im Jahre 1841 erschien:

»Wenn man beim Saturnslaufe die Störungen des Uranus nicht berück»sichtigte, so würde man ganz ähnliche Abweichungen finden, und wenn man »sehr genaue Saturnsbeobachtungen aus einer langen Reihe von Jahren be»sessen hätte, so würde es möglich gewesen sein, durch analytische Combinatio»nen den Uranus theoretisch zu entdecken, bevor ihn Herschel aufgefunden »hätte, vorausgesetzt, daß alle anderen störenden Massen hinreichend genau be»kannt und gehörig in Rechnung gebracht worden wären.

»Es liegt nun nahe, diesen Schluß vom Saturn auf Uranus um ein »Glied weiter zu übertragen und auf einen jenseits des Uranus laufen»den und diesen störenden Planeten zu schließen: ja man darf die Hoff»nung aussprechen, daß die Analysis einst diesen höchsten ihrer Triumphe feiern »und durch ihr geistiges Auge Entdeckungen in den Regionen machen werde, in »welche das körperliche Auge bis dahin einzudringen nicht vermochte.«

Diese Hoffnung ist bald auf das Glänzendste in Erfüllung gegangen.

Nachdem sich Leverrier von Neuem überzeugt hatte, daß man durch die bekannten Planeten die Störungen des Uranus nicht erklären könne, unternahm

er es, den Ort und die Maſſe des noch unbekannten Planeten zu berechnen, welcher die fraglichen Abweichungen veranlaſſe.

Adams in Cambridge bearbeitete gleichzeitig denſelben Gegenſtand, ohne daß Einer von den Beſtrebungen des Anderen Kenntniß hatte. Beide Gelehrte gelangten ganz unabhängig von einander zu demſelben Ziele, indem ſie den Ort am Fixſternhimmel beſtimmten, wo der neue Planet zu ſuchen ſei. Ihre Reſultate ſtimmen faſt ganz genau überein.

Leverrier publicirte indeß ſeine Arbeit früher als Adams. Am 23. September 1846 erhielt Galle in Berlin die Nachricht von dem Reſultat der Leverrier'ſchen Rechnungen, und es gelang ihm in der That, indem er das Fernrohr nach der bezeichneten Stelle des Himmels richtete, den geſuchten Planeten aufzufinden, welcher alsbald den Namen Neptun erhielt.

96 **Störungen der Kometen.** Die Kometen erleiden, wenn ſie in die Nähe von Planeten kommen, ſo große Störungen, daß ihre Umlaufszeit dadurch bedeutend vergrößert oder verkleinert, ja daß ihre Bahn ſo verändert wird, daß ſie mit ihrer vorherigen Geſtalt gar keine Aehnlichkeit mehr hat.

Ein merkwürdiges Beiſpiel der Art liefert uns der Komet von 1770. Er hatte ſich der Erde bis auf 360000 Meilen genähert, und die beobachteten Orte wichen ſo ſehr von einer paraboliſchen Bahn ab, daß man für ihn eine elliptiſche Bahn zu berechnen ſuchte. In der That genügte den Beobachtungen eine Ellipſe, deren große Axe 3,14 Erdweiten betrug, bei einer Umlaufszeit von 5 Jahren 209 Tagen.

Aber weder vorher noch nachher iſt dieſer Komet wieder beobachtet worden. Wenn man für die erwähnte elliptiſche Bahn rückwärts rechnet, ſo ergiebt ſich, daß der Komet im Mai 1767 dem Jupiter ſo nahe war, daß die Wirkung dieſes Planeten momentan ſtärker als die der Sonne ſein mußte; erſt durch dieſe Einwirkung wurde der Komet in die Bahn gebracht, in welcher man ihn 1770 beobachtete, während er bis dahin eine ganz andere Bahn verfolgt hatte. In ſeiner neuen Bahn kam der Komet im Jahre 1776 abermals ins Perihelium, konnte aber nicht beobachtet werden, weil zu dieſer Zeit die Sonne gerade zwiſchen den Kometen und die Erde zu ſtehen kam.

In der aus den Beobachtungen von 1770 berechneten Ellipſe fortlaufend, mußte aber dieſer Komet im Auguſt 1779 dem Jupiter abermals ſehr nahe, und zwar ſo nahe kommen, daß er zwiſchen dem Planeten und dem vierten Satelliten hindurchging. In dieſer Nähe mußte er vom Jupiter eine 24mal ſtärkere Wirkung erfahren als von der Sonne, und dadurch wurde er wieder vollſtändig aus der Bahn gebracht, die er ſeit 1767 verfolgt hatte, weshalb er denn auch im Jahre 1781 nicht wieder beobachtet wurde, wo man eine ſichtbare Wiederkehr deſſelben hätte erwarten können, wenn er nicht durch jene Störungen aus der Bahn von 1770 wäre abgelenkt worden.

Nach den früher beſtimmten Bahnelementen ſollte die Rückkehr des Halley'ſchen Kometen gegen Anfang des Jahres 1758 ſtattfinden. Nach Clairaut's Rechnungen hatte er aber ſeit ſeinem letzten Erſcheinen bedeutende Stö-

rungen erlitten, und nach denſelben war ſeine Rückkehr durch den Jupiter ungefähr um 518, durch Saturn um 100 Tage verzögert worden, ſo daß ſie erſt in der Mitte des April 1759 zu erwarten war. In der That ging der Halley'ſche Komet am 12. März 1759 durch das Perihelium.

Während alſo einerſeits die Kometen ſehr bedeutende Störungen durch die Planeten erfahren, hat man bis jetzt noch keine Störungen nachweiſen können, welche die Planeten durch Kometen erlitten hätten, woraus ſich ergiebt, daß die Maſſe der Kometen ſehr klein im Vergleich zu der Maſſe der Planeten ſein muß.

Wäre z. B. der Komet von 1770 an Maſſe der Erde gleich, ſo müßte er in ſeiner Erdnähe ſolche Störungen hervorgebracht haben, daß das Erdjahr dadurch um faſt 3 Stunden verlängert worden wäre. Es iſt aber nicht die mindeſte Verlängerung der Jahresdauer bemerkt worden, während eine Verlängerung von 2 Secunden der Beobachtung nicht hätte entgehen können, woraus denn folgt, daß die Maſſe des Kometen von 1770 gewiß noch nicht $^1/_{5000}$ der Erdmaſſe ſein kann.

Störungen der Mondsbahn. Die raſchen Aenderungen, welchen die 97
Elemente der Mondsbahn unterworfen ſind (§. 68, S. 162), ſind die Folge bedeutender ſtörender Kräfte. Für den Mond iſt die Erde der Centralkörper, und wenn ſie nebſt dem Monde allein im Raume ſich befände, ſo würde der Mond eine Ellipſe beſchreiben, deren einen Brennpunkt die Erde einnimmt und deren Geſtalt eben ſo unveränderlich ſein würde wie ihre Lage im Raume. Nun aber wirkt die Sonne auf den Mond als ſtörender Körper, und in Folge ihrer ſo bedeutenden Maſſe ſind auch die Störungen, welche ſie im Mondslauf hervorbringt, ſehr bedeutend.

Die Erde wird ebenſo wie der Mond beſtändig von der Sonne angezogen, und indem ſie ihre Bahnen durchlaufen, fallen ſie gewiſſermaßen ſtets gegen dieſen Centralkörper hin. Wenn nun die Anziehungen der Sonne auf die Maſſeneinheit des Mondes und auf die Maſſeneinheit der Erde immer gleich wären, ſo würde der Fall beider Weltkörper gegen die Sonne hin ganz derſelbe ſein; ihre gegenſeitige Stellung würde alſo dadurch nicht alterirt werden, der Mond würde ganz ſo um die Erde kreiſen, als ob die Sonne gar nicht vorhanden wäre.

So verhält es ſich aber nicht. Die Anziehung, welche die Sonne auf die Einheit der Mondmaſſe ausübt, iſt bald größer, bald kleiner, als die Kraft, mit welcher die Einheit der Erdmaſſe von der Sonne angezogen wird, und daraus gehen dann Störungen hervor, deren vorzüglichſte Wirkungen wir ſchon früher kennen lernten.

Zur Zeit des Neumondes iſt der Mond der Sonne näher als die Erde, alſo wird zu dieſer Zeit die Einheit der Mondmaſſe ſtärker von der Sonne angezogen als die Einheit der Erdmaſſe, der Mond gravitirt ſchneller gegen die Sonne hin als die Erde, der ſtörende Einfluß der Sonne wirkt alſo jetzt dahin, den Abſtand des Mondes und der Erde zu vergrößern.

Zur Zeit des Vollmondes iſt die Erde der Sonne näher, die Erde gra-

vitirt alſo zu dieſer Zeit ſtärker gegen die Sonne hin als der Mond, alſo auch jetzt wirkt die ſtörende Kraft der Sonne dahin, die Entfernung der beiden Körper zu vergrößern.

Dieſe ſtörende Wirkung der Sonne iſt aber offenbar größer, wenn ſich die Erde in der Sonnennähe, kleiner, wenn ſie ſich in der Sonnenferne befindet, die Mondsbahn muß ſich deshalb etwas zuſammenziehen, während die Erde ſich vom Perihelium zum Aphelium bewegt, um ſich dann wieder etwas auszudehnen, während die Erde den Bogen vom Aphelium bis zum Perihelium durchläuft.

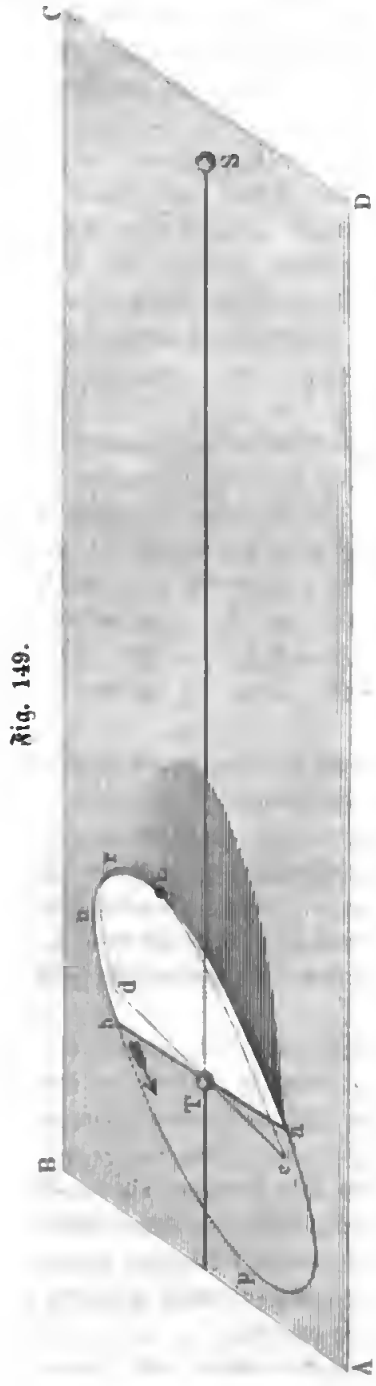


Fig. 149.

Nach dem dritten Kepler'ſchen Geſetz muß aber dieſe Erweiterung und Zuſammenziehung der Mondsbahn auch ein periodiſches Ab- und Zunehmen der Umlaufszeit des Mondes zur Folge haben; die Umlaufszeit des Mondes muß alſo ungefähr zur Zeit des Winterſolſtitiums etwas größer ſein, als zur Zeit des Sommerſolſtitiums.

Dieſe periodiſche Aenderung in der Umlaufszeit des Mondes, welche den Namen der jährlichen Gleichung führt, war bereits ſchon von Tycho de Brahe beobachtet worden. In der That iſt die ſideriſche Umlaufszeit des Mondes zu Anfang des Jahres ungefähr um $^1/_4$ Stunde größer als in der Mitte des Jahres.

Wir wollen nun noch verſuchen, ſo weit es auf elementarem Wege möglich iſt, verſtändlich zu machen, wie durch den ſtörenden Einfluß der Sonne der Rückgang der Knoten der Mondsbahn bewirkt wird.

Es ſtelle $ABCD$, Fig. 147, ein Stück der Ebene der Erdbahn dar; S ſei die Sonne, T die Erde, $aLbp$ die Mondsbahn, welche die Ekliptik in der Knotenlinie ab ſchneidet. Ohne die Einwirkung der Sonne würde der Mond ſtets in derſelben Ebene ſich fortbewegen, die Knotenlinie würde alſo unverändert bleiben. Die Einwirkung der Sonne äußert aber ein Beſtreben, die Ebene ſeiner Bahn fortwährend zu ändern, namentlich wenn der Mond ſich in denjenigen

Punkten seiner Bahn befindet, welche der Sonne am nächsten und am entferntesten liegen.

In dem Punkte L seiner Bahn angekommen, welcher der Sonne am nächsten liegt, strebt die Einwirkung der Sonne offenbar dahin, den Mond aus der durch T und das Bogenstück, welches er zuletzt durchlief, gelegten Ebene herauszubringen.

Statt daß der Mond unter dem alleinigen Einfluß der Erde nun den Bogen Lnb zurückgelegt haben würde, beschreibt er unter dem störenden Einflusse der Sonne den Bogen Lrd, kurz es verhält sich Alles so, als ob unter dem Einflusse der Sonne die Ebene der Mondsbahn um die Linie LT gedreht würde, wodurch dann die Knotenlinie ab in die Lage cd gebracht wird; die Knotenlinie der Mondsbahn muß sich also in der Ebene der Ekliptik in einer Richtung drehen, welche der Richtung entgegengesetzt ist, in welcher der Mond selbst sich bewegt.

Ganz in der gleichen Richtung strebt die Sonne die Ebene der Mondsbahn zu drehen, wenn sich derselbe in dem von der Sonne entferntesten Theile seiner Bahn befindet.

So giebt denn das Gesetz der allgemeinen Schwere von allen den verschiedenen Ungleichheiten Rechenschaft, welchen die Bewegung des Mondes unterworfen ist; ohne Zweifel gehört aber dieser Gegenstand zu den schwierigsten und verwickeltsten Aufgaben der mathematischen Analysis.

Ebbe und Fluth. Die Oberfläche des Meeres zeigt regelmäßige und 98
periodische Oscillationen, welche unter dem Namen der Ebbe und Fluth bekannt sind. Ungefähr 6 Stunden lang steigt das Meer, das ist die Fluth; dann fällt es wieder in den nächsten 6 Stunden, und dieses Sinken wird die Ebbe genannt. An jedem Tage findet zweimal Ebbe und zweimal Fluth Statt.

Der Zeitraum, innerhalb dessen diese doppelte Oscillation vor sich geht, ist jedoch nicht genau 24 Stunden, sondern im Mittel 24 Stunden 50 Minuten 28 Secunden, gerade die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Culminationen des Mondes verstreicht. Zwischen einem Maximum der Fluth bis zum anderen liegt demnach immer eine Zeit von $12^h\ 25'\ 14''$. Wenn also an einem Tage die Fluth Mittags um 12 Uhr ihre größte Höhe erreicht, so wird dasselbe am nächsten Tage um $12^h\ 50'$, am zweiten um $1^h\ 41'$, am dritten um $2^h\ 31'$ u. s. w. stattfinden, und zwischen zwei Nachmittags- oder Abendfluthen wird dann immer eine Morgenfluth in der Mitte liegen.

Die Höhe der Fluth, d. h. der Unterschied zwischen dem Niveau des Meeres zur Zeit seines höchsten und seines darauf folgenden tiefsten Standes ist selbst für einen und denselben Ort nicht unveränderlich, sondern erleidet theils periodische, theils zufällige Schwankungen. Die letzteren werden vorzugsweise durch Winde und Stürme bedingt, welche je nach Umständen das Steigen der Fluth bald begünstigen, bald hemmen. Die periodischen Schwankungen, welchen die Höhe der Fluth unterworfen ist, sind aber von den Phasen des Mondes abhängig. Die Höhe der Fluthen wird am größten zur Zeit des Neumon-

des und des Vollmondes (Springfluth), ſie iſt am kleinſten zur Zeit der Quadraturen.

Aus alledem erſieht man, daß Ebbe und Fluth eine vorzugsweiſe vom Mond abhängige Erſcheinung iſt, und in der That tritt auch das Maximum der Fluth ſtets um eine beſtimmte Zeit nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian ein; dieſe Zeit, welche den Namen Hafenzeit (Hafenetabliſſement) führt, iſt von einem Orte zum anderen in Folge localer Urſachen verſchieden.

So beträgt die Hafenzeit in

Cadix	1h	15′	St. Malo	6h	30′
Liſſabon	4	0	Cherbourg	7	45
Bayonne	3	30	Calais	11	45
Breſt	3	45	Vliſſingen	1	0
Plymouth	6	5	Hamburg	5	0

Ebenſo iſt die Fluthhöhe ſehr von localen Verhältniſſen abhängig; im mittelländiſchen Meere iſt die Ebbe und Fluth kaum merklich, dagegen iſt ſie an den Küſten von Frankreich und England ſehr bedeutend. So iſt z. B. zur Zeit der Syzygien die mittlere Fluthhöhe in

Bayonne	9 Fuß,
Breſt	20 »
St. Malo	36 »
London	18 »

An der Mündung des Avon (weſtlich von der Inſel Wight) erreicht die Springfluth die Höhe von 42 Fuß. Die höchſten Fluthen auf der ganzen Erde hat wohl die Fundybai, an der ſüdöſtlichen Küſte des britiſchen Nordamerika, aufzuweiſen. Im Hintergrunde dieſer Bai ſteigen die Springfluthen bis zu einer Höhe von 60 bis 70 Fuß.

An kleinen mitten im Ocean liegenden Inſeln iſt die Fluth nicht bedeutend; ſo beträgt die Fluthhöhe auf St. Helena nur 8, auf den Inſeln der Südſee nur 2 Fuß.

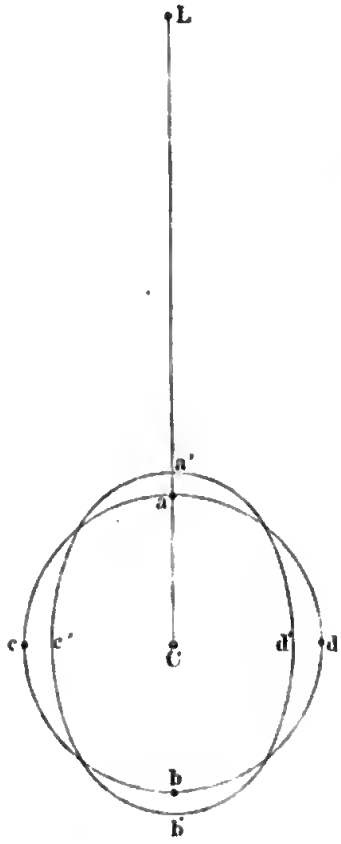
Unter ſonſt gleichen Umſtänden nimmt die Fluthhöhe von dem Aequator nach den Polen hin ab; an der nördlichen Küſte von Norwegen iſt ſie ſehr unbedeutend.

99 **Mechaniſche Erklärung der Ebbe und Fluth.** Da alle Wirkungen im Planetenſyſtem gegenſeitig ſind, ſo gravitirt nicht allein der Mond gegen die Erde, ſondern auch die Erde gegen den Mond. Da aber nicht alle Punkte der Erdkugel in gleichem Abſtande von dem Monde ſtehen, ſo ſind ſie auch ungleichen Anziehungskräften unterworfen, und daraus eben entſpringt die Ebbe und Fluth.

Es ſei C der Mittelpunkt der Erde (Fig. 150), L der Mond, ſo wird der Punkt a der Erdoberfläche ſtärker vom Monde angezogen werden als C, und wenn a nicht feſt mit C verbunden iſt, ſo wird a mit größerer Beſchleunigung

gegen L gravitiren als C, es wird ſich ein Streben zeigen, a von C zu entfernen. Wenn ſich alſo auf der dem Monde zugewandten Seite der Erde gerade ein großer Ocean befindet, ſo wird hier das Niveau des Meeres ſteigen.

Fig. 150.



Ganz das Gleiche findet an der von dem Monde entfernteſten Stelle b der Erdoberfläche Statt. Hier in b wirkt die anziehende Kraft des Mondes geringer als in C, der Mittelpunkt der Erde gravitirt ſtärker gegen den Mond als b, und wenn es alſo die Beweglichkeit der Theilchen nicht hindert, ſo wird ſich auch bei den in der Nähe von b gelegenen Maſſen das Streben geltend machen, ſich von dem Erdmittelpunkte zu entfernen.

Wäre die Erde ganz mit Waſſer bedeckt, ſo würde die ſonſt kugelförmige Oberfläche derſelben die Geſtalt $a'c'b'd'$ annehmen; denn indem das Waſſer bei a und b ſteigt, muß es nothwendig bei c und d ſinken. Es würde alſo Fluth ſein an den Orten, für welche der Mond im Meridian ſteht, ſei es nun in oberer oder unterer Culmination, Ebbe aber an den Orten, für welche der Mond gerade auf- oder untergeht.

Bezeichnen wir mit d den Abſtand des Erdmittelpunktes von dem Mittelpunkte des Mondes, ſo iſt die Kraft, mit welcher die Maſſeneinheit in C vom Monde angezogen wird, $\frac{fm}{d^2}$, wenn m die Maſſe des Mondes iſt. Die Kraft, mit welcher die Einheit der Maſſe in b vom Monde angezogen wird, iſt aber $\frac{fm}{(d-r)^2}$, wenn r den Halbmeſſer der Erde bezeichnet; folglich iſt die Differenz der Kräfte, welche in C und b wirken:

$$D = \frac{fm}{(d-r)^2} - \frac{fm}{d^2}.$$

Entwickelt man den erſten Theil dieſes Werthes, indem man die Diviſion von fm durch $(d-r)^2$ (alſo durch $d^2 - 2dr + r^2$) ausführt, ſo kommt:

$$\frac{fm}{(d-r)^2} = \frac{fm}{d^2} + \frac{2fmr}{d^3} + \frac{3fmr^2}{d^4} + \text{ꝛc.},$$

und wenn man davon $\frac{fm}{d^2}$ abzieht, ſo bleibt:

$$D = \frac{2fmr}{d^3} + \frac{3fmr^2}{d^4} + \text{ꝛc.}$$

Da der Werth von d ſehr groß iſt im Vergleich gegen r, ſo kann man ohne Weiteres alle Glieder dieſer Reihe vernachläſſigen, welche d^4 und höhere Potenzen von d im Diviſor haben; es bleibt alſo:

$$D = \frac{2fmr}{d^3}.$$

Nun aber bewirkt die Sonne in ganz ähnlicher Weiſe Ebbe und Fluth, wie der Mond, nur ſind die Sonnenfluthen wegen der größeren Entfernung der Sonne weniger hoch als die Mondfluthen. Bezeichnen wir mit m' die Maſſe der Sonne, mit d' ihre Entfernung von der Erde, ſo haben wir alſo für die Kraft, welche die Sonnenfluth veranlaßt:

$$D' = \frac{2fm'r}{d'^3}.$$

Nun aber iſt $d' = 400\,d$ und $m' = 355000.88.r$ und danach ergiebt ſich dann:

$$D' = \frac{2fr.m.355000.88}{d^3\,400^3} = 0{,}488\,D;$$

die Höhe der Sonnenfluthen iſt alſo nahe halb ſo groß, als die Höhe der Mondfluthen. Da ſich nun zur Zeit des Neu- und Vollmondes die Sonnen- und Mondfluthen ſummiren, ſo iſt die Kraft, welche die Geſammtfluth veranlaßt:

$$1{,}5\,D.$$

Zur Zeit der Quadraturen aber fällt die Mondfluth mit der Sonnenebbe zuſammen, die Geſammtfluth erreicht alsdann die Höhe

$$D - 0{,}5\,D = 0{,}5\,D,$$

zur Zeit der Syzygien erreicht alſo die Fluth eine beinahe 3mal größere Höhe, als zur Zeit des erſten und des letzten Mondviertels.

Wäre die ganze Erdoberfläche mit Waſſer bedeckt, ſo würde der Verlauf der Ebbe und Fluth ein ſehr einfacher ſein. Alle Punkte, welche auf demſelben Meridian liegen, müßten zu gleicher Zeit Hochwaſſer haben; die Fluthwellen würden, von Nord nach Süd ſich erſtreckend, in der Richtung von Oſten nach Weſten fortſchreiten, und zwar würde eine ſolche Fluthwelle den Weg um die ganze Erde in 24 Stunden zurücklegen, am Aequator alſo mit einer Geſchwindigkeit von 225 Meilen in der Stunde fortſchreiten müſſen. — Ihre größte Höhe müßte eine Fluthwelle an derjenigen Stelle eines Meridians erreichen, an welcher der Mond durch das Zenith geht.

Durch die ungleiche Vertheilung von Waſſer und Land wird nun dieſe ideale Form der Fluthwellen, welche Whewell Iſorachien nennt, durchaus verändert. Whewell hat, ſoweit es nach dem vorhandenen Beobachtungsmaterial möglich war, den Verlauf der Iſorachien zu ermitteln geſucht, und hat ſie dann in Karten eingetragen. In dieſen Karten iſt z. B. eine Curve durch alle Orte des Oceans gezogen, welche an einem beſtimmten Tage um 1 Uhr Hochwaſſer haben, eine zweite, dritte, vierte u. ſ. w. zeigt die Stellen an, bis zu welchen das Hochwaſſer um 2, 3, 4 Uhr u. ſ. w. vorgedrungen iſt.

Tab. XIV. stellt Whewell's Isorachien von 2 zu 2 Stunden dar; der unsichere Theil der Curven ist punktirt.

Man sieht hier deutlich, wie die Fluthwellen, aus dem indischen Ocean nach Westen vordringend, durch den afrikanischen Continent aufgehalten werden. Die südlich vom Cap der guten Hoffnung vorbeischreitenden Fluthwellen treten nun in südöstlicher Richtung in den atlantischen Ocean ein, in welcher Richtung sie auch die Ostküsten von Nordamerika erreichen, während sie in südwestlicher Richtung an die Westküsten von Europa anschlagen. (Näheres in Berghaus' physikalischem Atlas.)

Sowie die Fluthwelle in abgelenkter Richtung in den atlantischen Ocean eintritt, so findet eine Ablenkung der Fluthwellen auch bei Seearmen und Buchten Statt; die Form der Gestade hat dann nicht allein auf die Richtung, sondern auch auf die Geschwindigkeit, mit welcher die Fluthwellen fortschreiten, einen wesentlichen Einfluß; im Allgemeinen wirkt die Nähe der Küsten verzögernd auf die Geschwindigkeit des Fortschreitens.

Werden in ihrem Fortschreiten die Fluthwellen in Buchten eingezwängt, dann erreichen sie, indem sie gleichsam concentrirt werden, eine ungeheure Höhe, wie wir dies an dem bereits angeführten Beispiel der Fundybai sehen.

Je nach der Configuration der Küsten wird es öfters vorkommen, daß an gewissen Stellen die Fluthwellen von verschiedenen Seiten zusammentreffen, wie dies z. B. in dem Meere zwischen England und Irland der Fall ist, wo die Fluthen von Norden und Süden her eindringen. Hier müssen natürlich Interferenzerscheinungen eintreten, welche das Phänomen noch verwickelter machen und die auffallendsten Abweichungen vom normalen Gang bedingen.

Erklärung der Präcession. Die Erscheinung der Präcession selbst 100
haben wir bereits in §. 35 kennen gelernt; um zu ihrer mechanischen Erklärung zu gelangen, wollen wir aber zunächst eine andere Erscheinung betrachten, welche sich auf denselben Erklärungsgrund zurückführen läßt, nämlich die langsame Bewegung, welche die Axe eines rotirenden Kreisels annimmt, wenn sie nicht ganz vertical steht. Man kann die Erscheinung an jedem Kreisel, am bequemsten vielleicht an dem allgemein bekannten Brummkreisel (Brummtoppich) beobachten.

Fig. 151.

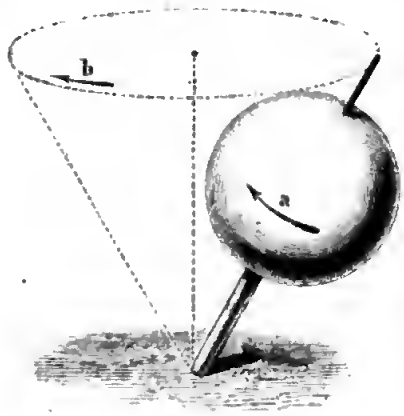
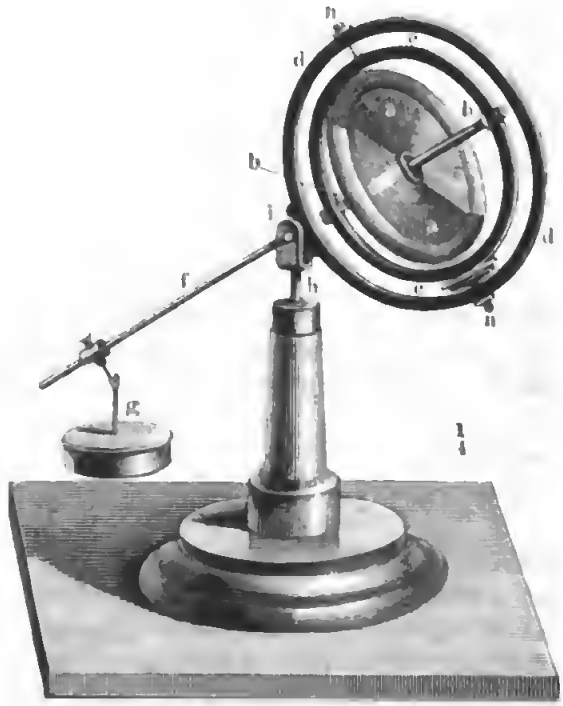


Fig. 151 stellt einen solchen Kreisel dar. Wenn die Rotationsaxe desselben, gleich nachdem er angelassen worden ist, nicht vertical steht, sondern mit der Richtung des Bleilothes einen Winkel macht, wie es die Figur zeigt, so fällt er nicht etwa um, wie man auf den ersten Anblick wohl vermuthen könnte, weil der Schwerpunkt nicht unterstützt ist, sondern die Axe des Kreisels beschreibt in langsamer Bewegung die Oberfläche eines

Kegels, wie dies in unſerer Figur durch punktirte Linien angedeutet iſt, ohne daß der Kreiſel ſich mehr gegen die horizontale Ebene neigt, ja der Kreiſel richtet ſich allmälig mehr und mehr auf, bis endlich ſeine Axe ſenkrecht ſteht, welches letztere jedoch nur eine Folge der Reibung iſt, welche die Spitze des Kreiſels am Boden zu überwinden hat; dieſes Aufrichten des Kreiſels würde nicht ſtattfinden, wenn keine Reibung ſtattfände.

Wenn der Kreiſel in der Richtung rotirt, welche der Pfeil *a* andeutet, ſo dreht ſich die Rotationsaxe in der Richtung des Pfeiles *b*.

Fig. 152.



Der Kreiſel fällt erſt um, wenn ſeine Rotationsgeſchwindigkeit bis zu einem gewiſſen Grade abgenommen hat.

Noch viel ſchöner und ſicherer läßt ſich dieſe langſame Drehung einer Rotationsaxe am Feſſel'ſchen Rotationsapparate zeigen, welcher in Fig. 152 dargeſtellt iſt: *a* iſt eine runde meſſingene Scheibe, deren äußere Begränzung durch einen dicken meſſingenen Wulſt gebildet wird. Durch die Mitte dieſer Scheibe geht eine ſtählerne Axe *b*, welche, von einem meſſingenen Ringe *c* getragen, möglichſt leicht in Spitzen läuft. Der Ring *c* iſt endlich wieder in dem Ringe *d* befeſtigt und um eine Axe *n n* drehbar, welche rechtwinklig auf der Axe *b* ſteht.

Der Ring *d* iſt mit einem Anſatz verſehen, welcher das Stahlſtäbchen *f* trägt, und welcher mittelſt eines horizontalen Stiftes in der Gabel *i* befeſtigt iſt. Die Gabel *i* aber ſitzt am oberen Ende eines Stahlſtäbchens *h*, deſſen untere Hälfte in einer verticalſtehenden Hülſe ſteckt, ſo daß die ganze obere Vorrichtung um die verticale Axe *h* und um den horizontalen Stift drehbar iſt, welcher durch *i* und den an dem Ringe *d* befeſtigten Anſatz geht. Da die Scheibe *a* nun außerdem noch um die Axen *b* und *n* drehbar iſt, ſo iſt alſo hinlänglich für ihre allſeitige freie Beweglichkeit geſorgt.

An dem Stäbchen *f* iſt ein Gewicht *g* angehängt, welches, an einer beſtimmten Stelle feſtgeſtellt, gerade dem Ringe *d* mit Allem, was ſich innerhalb deſſelben befindet, das Gleichgewicht hält, ſo daß alſo der Apparat von ſelbſt in einer ſolchen Stellung ſtehen bleibt, wie es die Figur zeigt.

Rückt man nun das Gewicht *g* an dem Stäbchen *f* hinauf oder nimmt man es ganz weg, so bekommt der Ring *d* mit der Scheibe *a* das Uebergewicht und senkt sich, bis er auf den Rand der Säule anstößt, in welcher *h* steckt; rückt man dagegen das Gewicht *g* von der Gleichgewichtsstellung aus an dem Stäbchen *f* mehr herab, so fällt natürlich das Uebergewicht auf die Seite von *g*; die ganze Vorrichtung wird um die horizontale in *i* steckende Axe gedreht, bis *g* auf dem Boden oder an dem Fuße des Stäbchens anstößt.

Die eben besprochenen Gleichgewichtsverhältnisse beziehen sich aber nur auf den Ruhestand des Apparates; die Sache ändert sich sogleich, wenn man der Scheibe *a* eine hinlänglich rasche Rotation um die Axe *b* ertheilt.

Die Rotation der Scheibe *a* wird dadurch hervorgebracht, daß man eine auf die stählerne Axe *b* aufgewickelte Schnur rasch abzieht, während man den Ring *c* in einer Stellung festhält, bei welcher die Axe *b* in die Verlängerung von *f* fällt.

Wird nun, nachdem das Gewicht *g* ganz entfernt oder doch so weit hinaufgerückt ist, daß das Uebergewicht auf Seite des Ringes *d* und seines Inhaltes ist, die Scheibe *a* in rasche Rotation versetzt, während der ganze Apparat ungefähr die Stellung hat, wie es die Figur zeigt, so scheint die Scheibe mit ihrem Ringe der Schwere nicht mehr zu gehorchen; denn die Neigung des Stiftes *f* und der Axe *b* gegen die Verticale bleibt unverändert, während sich die ganze Vorrichtung um die verticale Axe *h* dreht, und zwar in einer Richtung, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, nach welcher sich gerade der oberste Punkt der rotirenden Scheibe bewegt.

Erst wenn die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe *a* bis zu einem gewissen Grade abgenommen hat, beginnt der Ring *d* mit der Scheibe *a* ganz allmälig herabzusinken.

Wenn man das Gegengewicht *g* an dem Stäbchen *f* mehr und mehr herunterschiebt, so daß das Uebergewicht, welches den Winkel des Stäbchens *f* und der Axe *b* mit der Verticalen zu vergrößern sucht, kleiner und kleiner wird, so wird unter übrigens gleichen Umständen die Drehung um die Axe *h* immer langsamer werden, bis sie endlich ganz aufhört, wenn *g* so befestigt ist, daß es dem Ringe *d* mit seinem Inhalte gerade das Gleichgewicht hält, und in eine Drehung von entgegengesetzter Richtung übergehen, wenn *g* so weit heruntergeschoben wird, daß das Uebergewicht auf seiner Seite ist und ein Bestreben zeigt, den Winkel zu verkleinern, welchen das Stäbchen *f* und die Axe *b* mit der Verticalen machen.

Fig. 153 (a. f. S.) stellt den Fessel'schen Apparat in einfachster Form dar, welche wohl ohne weitere Erklärung verständlich sein wird.

In allen eben betrachteten Fällen haben wir es mit einem um eine Axe rotirenden Körper zu thun, auf welchen Kräfte wirken, welche den Winkel zu vergrößern oder zu verkleinern streben, den die Rotationsaxe mit der Verticalen macht.

Ganz ähnlich verhält es sich mit der Erde; sie rotirt um eine Axe, welche einen bestimmten Winkel mit der Ebene der Ekliptik macht, während Kräfte auf sie wirken, welche dahin streben, den Winkel zu verkleinern, welchen die Erdaxe

mit derjenigen Linie macht, welche durch ihren Mittelpunkt gehend auf der Ebene der Ekliptik rechtwinklig ſteht.

Fig. 153

Die Kraft, welche die Erdaxe rechtwinklig auf die Ebene der Ekliptik zu ſtellen ſtrebt, rührt von der Anziehung her, welche die Sonne auf die Erde ausübt. Wenn die Erde eine vollkommene Kugel und ihre Maſſe gleichförmig um ihren Mittelpunkt vertheilt wäre, ſo würde die Reſultirende aller Wirkungen, welche die Sonne auf die einzelnen Theile der Erde ausübt, durch ihren Mittelpunkt gehen. Dieſe Reſultirende könnte alſo keinerlei Einfluß auf die Rotationsaxe der Erde ausüben, dieſelbe würde ſtets ſich ſelbſt parallel im Raume fortſchreiten, wie ja auch an dem Apparat, Fig. 152, die Drehung um die Axe *h* aufhört, ſobald das Gewicht *g* ſo geſtellt iſt, daß in Beziehung auf die durch *i* gehende horizontale Axe Gleichgewicht ſtattfindet.

Nun aber iſt die Erde abgeplattet, und deshalb kann man ſie als eine Kugel betrachten, deren Radius dem halben Polardurchmeſſer gleich, und welche noch mit einem Wulſt bedeckt iſt, welcher, am Aequator am dickſten, nach den Polen zu abnimmt, wie dies Fig. 154 in übertriebener Weiſe angedeutet iſt, welche die Stellung der Erde gegen die Sonne zur Zeit des Sommerſolſtitiums darſtellt.

Betrachten wir nun die Wirkung der Sonne *S* auf den Aequatorialwulſt für ſich, ſo iſt klar, daß die Kraft, mit welcher die Einheit der Maſſe bei *m* von der Sonne angezogen wird, größer iſt als die Anziehung, welche die Sonne auf eine gleich große Maſſe bei *m'* ausübt; die Wirkung der Sonne auf den fraglichen Wulſt ſtrebt alſo dahin, die Erde in der Richtung des Pfeiles um eine

Axe zu drehen, welche in der Ebene der Ekliptik liegt und senkrecht auf SC steht. Wir haben also hier in der That ein ganz ähnliches Verhältniß, wie wir es beim Kreisel und der Fessel'schen Rotationsmaschine kennen lernten.

Fig. 154.

Zur Zeit des Winterfolstitiums, wenn die Erde auf der entgegengesetzten Seite der Sonne steht, ist der Südpol p' der Sonne zugekehrt ist; es wird alsdann m' stärker von der Sonne angezogen als m, so daß also auch zu dieser Zeit die Sonne ein Streben äußert, die Erde in der Richtung des Pfeiles zu drehen, also die Erdaxe aufzurichten. Zur Zeit der Aequinoctien, wo die Erdaxe rechtwinklig auf SC steht, ist die Kraft, welche die Erdaxe zu drehen strebt, gleich Null, wir sehen also, daß die Kraft, welche die Schiefe der Ekliptik zu verkleinern strebt, zur Zeit der Solstitien ein Maximum wird und von da bis zu den Aequinoctien abnimmt.

Zur Erläuterung des Rückganges der Aequinoctialpunkte hat Bohnenberger einen Apparat construirt, welcher nach ihm den Namen des »Bohnenberger'schen Maschinchens« führt. Eine Kugel oder ein Sphäroid von Elfenbein oder noch besser von Metall ist um eine Axe ab drehbar, die in Spitzen läuft, welche in einem messingenen Ringe befestigt sind, Fig. 155.

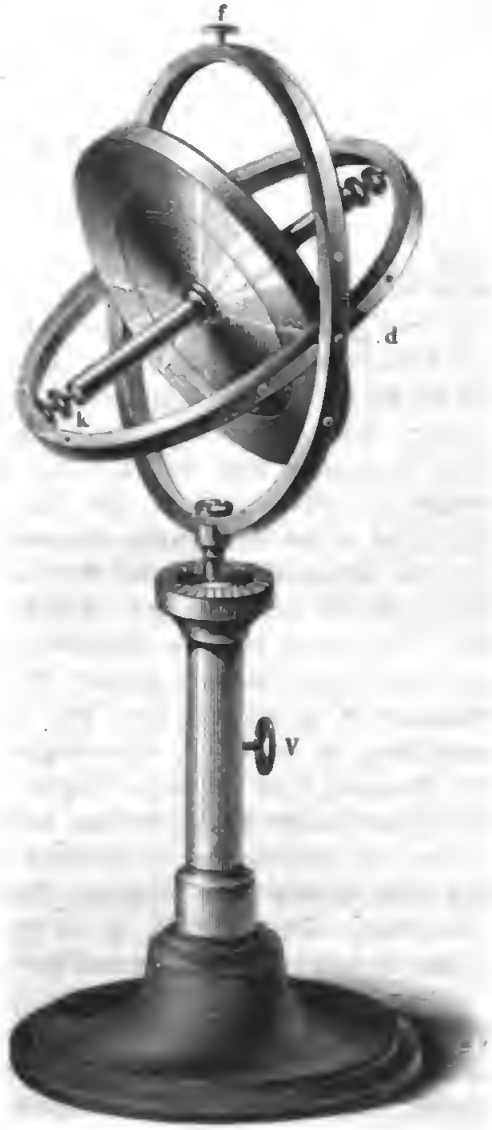
Fig. 155.

Dieser innerste Ring ist wieder um eine horizontale Axe cd (der Endpunkt d ist in unserer Figur verdeckt) innerhalb eines zweiten Ringes drehbar, welcher selbst wieder um eine verticale Axe fg innerhalb des äußersten auf einem Postamentchen befestigten Ringes gedreht werden kann. Auf diese Weise ist die Kugel sowohl wie ihre Umdrehungsaxe vollkommen frei beweglich.

Ist das Gleichgewicht der Kugel und des innersten Ringes so hergestellt, daß ihr Schwerpunkt auf die Axe cd fällt, daß also keine Kraft vorhanden ist, welche eine Drehung um die Axe cd zu bewirken strebt, so wird die Axe ab ihre Stellung im Raume unverändert beibehalten, wenn man die Kugel in rasche Rotation um diese Axe versetzt hat, wie man auch den ganzen Apparat, am Fußgestell haltend, herumtragen und drehen mag. Sobald aber ein kleines Uebergewicht bei b angebracht wird, ist jetzt eine Kraft vorhanden, welche den innersten Ring sammt der Kugel um die Axe cd zu drehen strebt, und zwar so, daß die Axe ab aufgerichtet und a dem Punkte f, b dem Punkte g genähert werden würde, wenn die Kugel nicht rotirte. Ist

aber die Rotation der Kugel hinlänglich raſch, ſo bleibt trotz des Uebergewichtes bei b die Neigung der Axe ab gegen fg unverändert, während dagegen eine Drehung der Kugel ſammt ihrer Rotationsaxe um die Axe fg ſtattfindet.

Fig. 156.



Es treten alſo hier ganz dieſelben Verhältniſſe ein, wie bei der Rotation der Erdaxe, nur mit dem Unterſchiede, daß die Kraft, welche die Axe ab aufzurichten ſtrebt, beim Bohnenberger'ſchen Apparate ſtets gleich ſtark wirkt.

Man kann den Feſſel'ſchen Apparat, Fig. 152, leicht in einen Bohnenberger'ſchen verwandeln, wenn man von dem Ringe d das Stäbchen f entfernt und ſtatt deſſen einen Stahlſtift befeſtigt, welcher dem Stahlſtift h gleich iſt und dann dieſen Stift in die Hülſe des Statifs ſteckt, wie Fig. 156 zeigt. Daß hier die Kugel des urſprünglichen Bohnenberger'ſchen Maſchinchens durch eine Metallſcheibe erſetzt iſt, ändert nichts am Weſen des Apparates.

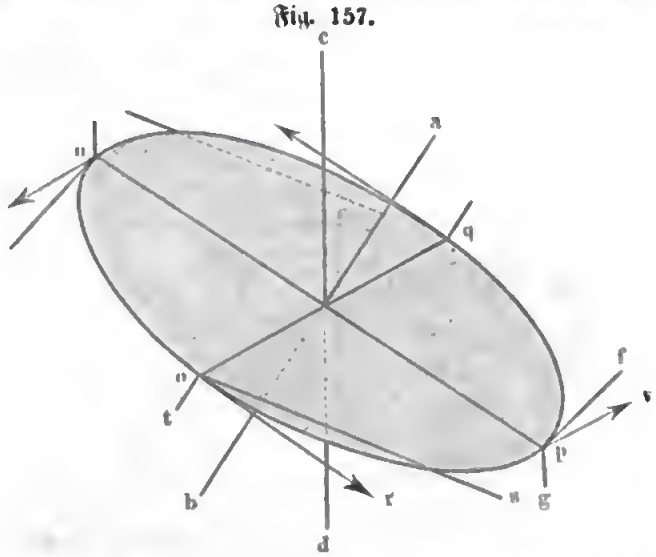
Wie ſich die fraglichen Erſcheinungen, wenigſtens in ihren Hauptzügen, ohne Calcül erklären laſſen, hat Poggendorff in ſeinen Annalen (XC. Band, S. 348) ungefähr in folgender Weiſe auseinandergeſetzt:

Betrachten wir die materielle Scheibe $nopq$, Fig. 157, welche um die Axe ab, die einen beſtimmten Winkel mit der Verticalen cd macht, ſehr raſch rotirt. Durch dieſe Rotation haben alle Theilchen der Scheibe tangentiale Geſchwindigkeiten erlangt, welche für die Punkte o, p, q und n durch Pfeile angedeutet ſind.

Wirkt nun auf die Scheibe eine Kraft, welche die Axe ab der Verticalen cd zu nähern, alſo die Scheibe um die Axe oq zu drehen ſtrebt, ſo wird der nächſte Effect ſein daß die Scheibe in der That ein wenig gedreht, daß alſo p etwas gehoben, n etwas geſenkt wird. Dadurch werden nun die Geſchwindigkeiten, mit welchen p und n behaftet ſind, nicht alterirt, ſie werden gewiſſermaßen

parallel mit sich selbst verschoben. Anders verhält es sich mit den materiellen Theilchen in o und q; sie werden genöthigt, aus der Richtung der Tangential-

Fig. 157.



geschwindigkeiten, mit welchen sie eben behaftet sind, herauszutreten; das Theilchen o z. B. wird genöthigt, die Richtung os einzuschlagen. Dadurch wird aber offenbar die ursprüngliche Geschwindigkeit or in zwei Seitenkräfte zerlegt, von welchen die eine os die Richtung bezeichnet, welche die in o an die Peripherie gelegte Tangente annehmen muß, während die andere Seitenkraft ot rechtwinklig zur Ebene der Scheibe als ein Druck wirkt, welcher eine Drehung um die Axe np zu bewirken strebt, und zwar in der Art, daß die obere Hälfte der Axe ab sich nach vorn bewegt.

Wird in gleicher Weise die Geschwindigkeit zerlegt, mit welcher ursprünglich ein materielles Theilchen in q behaftet war, so ergiebt sich eine Seitenkraft, welche von q aus nach oben gerichtet ist, welche also die Scheibe in der gleichen Richtung zu drehen strebt, wie ot.

Eine Kraft also, welche die Axe ab der Verticalen zu nähern strebt, hat, wenn die Scheibe rotirt, zunächst die Folge, daß der Rotationsaxe eine Drehung mitgetheilt wird, welche rechtwinklig zu derjenigen ist, welche die störende Kraft direct hervorzubringen strebt.

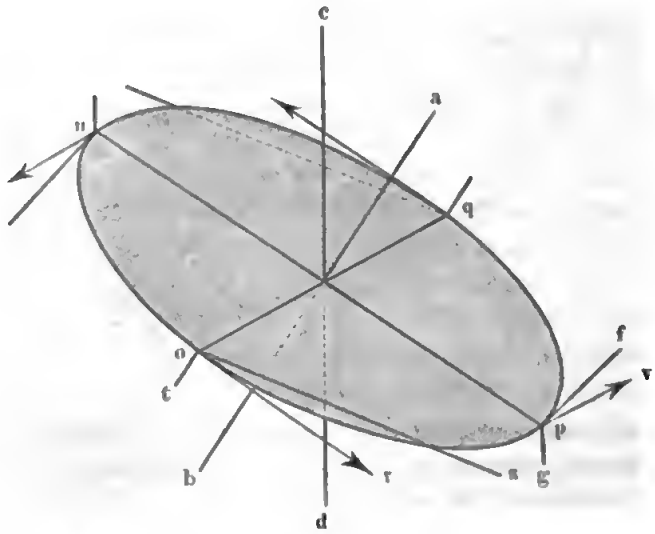
Die Bewegung, welche dadurch der Axe ab mitgetheilt wird, ist zunächst wenigstens ganz dieselbe, als ob eine Umdrehung um die Verticale cd erfolge, und zwar in unserem speciellen Falle so, daß dabei a vor- und b zurücktritt, daß also die Drehung der Rotationsaxe um die Verticale von oben gesehen in der Richtung erfolgt, nach welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.

Daß unter den gegebenen Umständen die Drehung der Rotationsaxe in der eben bezeichneten Richtung wirklich stattfindet, davon kann man sich sowohl am Bohnenberger'schen wie am Fessel'schen Apparate überzeugen.

Bei diesem ersten Effecte bleibt aber der Vorgang nicht. Sobald eine Drehung der rotirenden Scheibe um die Axe np erfolgt, wird nun auch die

Richtung der Tangentialgeſchwindigkeiten in n und p alterirt. Das Theilchen p, welches die Tangentialgeſchwindigkeit pv hatte, wird eine Tangentialgeſchwindigkeit in der Richtung pf annehmen müſſen, die Geſchwindigkeit pv wird alſo in zwei Componenten zerlegt, von denen die eine nach pf gerichtet iſt, während die andere pg als ein Druck auf die Scheibe wirkt, welcher dahin ſtrebt, die

Fig. 158.



Axe ab von der Verticalen zu entfernen; eine gleiche Wirkung geht aus der Zerlegung der urſprünglichen Tangentialgeſchwindigkeit von n hervor.

In Folge der Drehung der Rotationsaxe treten alſo Kräfte auf, welche die Rotationsaxe von der Verticalen zu entfernen ſtreben, alſo der urſprünglich ſtörenden Kraft gerade entgegen wirken, welche dahin ſtreben, die Rotationsaxe der Verticalen zu nähern; ſo kommt es denn, daß, wenn die Rotationsgeſchwindigkeit groß genug iſt, der Winkel zwiſchen der Rotationsaxe und der Verticalen conſtant erhalten wird.

Eine vollſtändige Erklärung der hierher gehörigen Erſcheinungen nicht allein der Art, ſondern auch der Größe nach, iſt ohne höhere Rechnung nicht wohl möglich. Eine vollſtändige Theorie des Kreiſels ſowohl wie der Präceſſion hat ſchon Euler gegeben, und man findet dieſelbe im dritten Bande ſeiner Mechanik, welche vor Kurzem erſt wieder in deutſcher Ueberſetzung mit Anmerkungen und Erläuterungen von Wolfers herausgegeben wurde. Eine intereſſante und inſtructive Specialabhandlung über dieſen Gegenſtand hat Heinen publicirt. (Ueber einige Rotationsapparate, insbeſondere den Feſſel'ſchen; Braunſchweig 1857.)

Achtes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

Fortschreitende Bewegung einzelner Sterne am Fixstern-himmel. 101 Wir haben bisher den Fixsternhimmel als den unveränderlichen Hintergrund betrachtet, auf welchem wir die Bahnen der Sonne, des Mondes, der Planeten und Kometen projicirt erblicken. Zwar haben wir bereits gesehen, daß die Länge sämmtlicher Gestirne in Folge des Rückganges der Aequinoctialpunkte fortwährend zunimmt, daß auch die Breite derselben in Folge der Nutation veränderlich ist; daß also weder die Erdaxe noch die Ebene der Erdbahn eine unveränderliche Lage im Weltraume haben. Bei alledem könnten aber doch wenigstens die Fixsterne unter sich eine absolut unveränderliche Stellung gegen einander haben; allein auch das ist nicht der Fall, obgleich die hierher gehörigen Verschiebungen so gering sind, daß sie erst nach Verlauf von Jahrhunderten eine namhafte Größe erreichen, und in kürzeren Zeiträumen nur durch Beobachtungen von der äußersten Genauigkeit nachgewiesen werden können.

Halley suchte zuerst eine solche Ortsveränderung am Sirius, Arcturus und Aldebaran darzuthun, und in der That steht gegenwärtig Arcturus um $2^1/_2$ Vollmondbreiten von der Stelle entfernt, welche er zu Hipparch's Zeiten einnahm.

Seitdem man überhaupt die Sternörter genauer zu bestimmen im Stande ist, hat man eine solche langsam fortschreitende Ortsveränderung auch noch für andere Sterne nachgewiesen; zunächst geschah dieses von W. Herschel, welcher seine eigenen Beobachtungen mit denen Flamsteed's verglich, und namentlich durch Bessel's und Argelander's Vergleichung von Bradley's Sternpositionen für 1755 mit neueren Sternkatalogen.

Diejenigen Sterne, an welchen man bis jetzt die größte eigene Bewegung beobachtet hat, sind:

2151 Puppis des Schiffes, sechster Größe, mit einer fortschreitenden Bewegung von 7,87 Secunden jährlich; ε Indi, erleidet eine jährliche Verschiebung von 7,74″, und ein Stern siebenter Größe auf der Gränze der Jagdhunde und

des großen Bären, Nr. 1830 des Katalogs der Circumpolarſterne von Groombridge eine ſolche von 7 Secunden. Auf dieſe folgen:

^{61} Cygni,	Doppelſtern	5. 6^m	5,12″ jährlich,
δ Eridani,	»	4. 5^m	4,08 »
μ Cassiopeiae,		6^m	3,74 »
α Centauri,		1^m	3,58 »
α Bootis,		1^m	2,25 »

Nach 3000 Jahren werden ungefähr 20 Sterne ſich um mehr als 1° von ihrer gegenwärtigen Stelle entfernt haben.

102 **Jährliche Parallaxe der Fixsterne.** Wenn die Lehre des Copernicus richtig iſt, daß die Erde gleich den anderen Planeten die Sonne umkreiſe und daß die ſcheinbare Bewegung der Sonne am Himmelsgewölbe nur eine Folge der wahren Bewegung der Erde ſei, ſo müſſen auch die Fixſterne eine von der Ortsveränderung der Erde herrührende ſcheinbare Bewegung zeigen und dadurch ihre gegenſeitigen Stellungen ändern. Dieſe ſcheinbaren Bewegungen der Fixſterne aber, welche ihrer Entſtehung nach an eine jährliche Periode gebunden ſein müſſen, werden um ſo kleiner ſein, je weiter die Fixſterne von uns entfernt ſind.

Fig. 159.

Unterſuchen wir nun zunächſt, von welcher Art die ſcheinbare Bewegung der Fixſterne ſein muß, welche durch die jährliche Bewegung der Erde erzeugt wird.

In Fig. 159 ſei s ein Fixſtern, $abcd$ die Erdbahn. Wenn ſich die Erde gerade in a befindet, ſo ſehen wir den Stern in a' an das Himmelsgewölbe projicirt; wenn die Erde nach b, c, d gelangt iſt, ſo ſind b', c', d' die Orte des Himmelsgewölbes, auf welche uns der Stern s projicirt erſcheint.

Im Laufe eines Jahres beſchreibt alſo der Fixſtern in Folge der jährlichen Wanderung der Erde um die Sonne am Himmelsgewölbe ſcheinbar eine Ellipſe $a'b'c'd'$, welche der Erdbahn, wie ſie vom Stern s aus geſehen erſcheint, vollkommen gleich iſt.

Der Fixſtern erreicht den nördlichſten Punkt ſeiner ſcheinbaren Bahn zur Zeit des Sommerſolſtitiums, den ſüdlichſten zur Zeit des Winterſolſtitiums. Zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums zeigt der Stern ſeine größte öſtliche, zur Zeit des Herbſtäquinoctiums ſeine größte weſtliche Abwei-

chung von dem mittleren Orte *m*, an welchem wir den Stern sehen würden, wenn wir uns auf der Sonne befänden.

Von einem Fixstern aus gesehen, erscheint die Erdbahn stets als eine Ellipse, welche um so mehr von der Kreisgestalt abweicht, je kleiner der Winkel ist, welchen eine von dem Fixstern zur Sonne gezogene Linie mit der Ebene der Erdbahn macht. Ist dieser Winkel ein rechter, steht also der fragliche Stern im Pol der Ekliptik, so wird die scheinbare Bahn, welche er im Laufe eines Jahres beschreibt, ein Kreis sein. Für jeden anderen Stern ist die scheinbare jährliche Bahn eine Ellipse, deren große Axe parallel mit der Ekliptik ist, und diese große Axe bleibt bei gleicher Entfernung des Fixsterns unverändert, wie weit er sich auch der Ebene der Ekliptik nähern mag, während die kleine Axe der Ellipse von dem Winkel abhängt, welchen die von dem Stern zur Sonne gezogene Linie mit der Ekliptik macht. Diese kleine Axe wird Null für alle Fixsterne, welche in der Ebene der Ekliptik selbst liegen.

Die große Axe der eben besprochenen Ellipse nennt man die jährliche Parallaxe des Fixsterns. Es ist klar, daß die jährliche Parallaxe von der Entfernung der Gestirne abhängt, daß sie größer sein muß für die näheren, kleiner für die entfernteren Fixsterne. Betrüge die jährliche Parallaxe eines Fixsterns

1°, so wäre seine Entfernung = 57 Halbmessern der Erdbahn,
1′ » » » » = 3438 » » »
1″ » » » » = 206265 » » »

Als Copernicus mit seinem neuen Weltsystem auftrat, hatte man noch keine Spur einer jährlichen Parallaxe an Fixsternen wahrgenommen; ihre gegenseitige Stellung galt für absolut unveränderlich, und die Anhänger des alten Systems verfehlten nicht, diesen Umstand gegen Copernicus geltend zu machen, welcher diesen Einwürfen weiter nichts entgegensetzen konnte, als daß die Entfernung der Fixsterne so groß sei, daß die jährliche Parallaxe einen für den damals erreichbaren Grad der Genauigkeit astronomischer Messungen verschwindend kleinen Werth habe.

Von nun an war das eifrige Bestreben der Astronomen darauf gerichtet, die Genauigkeit der Beobachtung möglichst zu steigern, um die jährliche Parallaxe einzelner Fixsterne zu ermitteln und dadurch nicht allein die Richtigkeit des Copernicanischen Systems zu beweisen, sondern auch die Entfernung dieser Fixsterne zu bestimmen.

Grösse der jährlichen Parallaxe und Entfernung der Fixsterne. 103 Tycho de Brahe vervollkommnete die astronomischen Beobachtungsmethoden so weit, daß die von ihm gemachten Ortsbestimmungen der Fixsterne bis auf 1′ genau sind, und doch war aus Tycho's Beobachtungen noch keine Parallaxe der Fixsterne nachzuweisen.

Der nächste Schritt in der Entwickelung astronomischer Messungen wurde nun durch die Combination von Kreistheilungen mit einem Fernrohre gemacht, welches mit einem Fadenkreuz versehen ist. Dadurch erreichten die Beobachtungen von Flamsteed und Römer eine Genauigkeit, bei welcher die Fehler-

gränze auf $^1/_6$ derjenigen reducirt wurde, welche bei den Tychoniſchen Beobachtungen noch vorkommen konnte.

In der That beobachtete nun Flamſteed Ortsveränderungen der Fixſterne, welche aber dem Geſetze der parallactiſchen Bewegung nicht entſprachen, alſo von einer anderen Urſache als der jährlichen Parallaxe herrühren mußten.

Zunächſt nahm dann Hooke (1669) dieſen Gegenſtand wieder auf. Um die geringſten Ortsveränderungen eines Fixſternes beobachten und meſſen zu können, ſtellte er ein mit einer Kreistheilung verſehenes Fernrohr ſo auf, daß es nahezu nach dem Zenith gerichtet war und nur eine unbedeutende Drehung in der Meridianebene zuließ. Mit einer ſolchen Vorrichtung, deren Aufſtellung unverändert blieb und welche zu keinem anderen Zwecke benutzt wurde, konnte man natürlich die Zenithdiſtanzen von Fixſternen, welche bei ihrer Culmination nahe durch das Zenith gehen, ſehr genau beobachten und die geringſten Veränderungen in der Zenithdiſtanz eines und deſſelben Sternes wahrnehmen. So zweckmäßig aber auch Hooke's Beobachtungsmethode war, ſo gelangte er damit doch zu keinem Reſultate.

Im Jahre 1725 nahm Molyneux die Hooke'ſche Beobachtungsmethode mit ganz vortrefflichen Inſtrumenten wieder auf, mit welchen die Zenithdiſtanz eines Sternes bis auf 1″ genau beſtimmt werden konnte. Zunächſt wurde der Stern γ im Kopfe des Drachen zum Gegenſtande einer genauen Unterſuchung gewählt.

Die Beobachtung wurde zur Zeit des Winterſolſtitiums begonnen, wo der Stern der Theorie zufolge den ſüdlichſten Punkt ſeiner jährlichen Bahn erreicht haben mußte; ſtatt aber nun ſtillzuſtehen und dann langſam nach Norden fortzuſchreiten, ergab ſich, daß der Stern noch weiter nach Süden fortſchritt, und erſt ein Vierteljahr ſpäter die ſüdlichſte Gränze ſeiner Bahn erreichte. Jetzt ſtand γ draconis 20″ ſüdlicher als im Anfange der Beobachtungen; nach einem halben Jahre war die Zenithdiſtanz wieder dieſelbe wie im December, und im September befand ſich der fragliche Stern 39″ nördlicher, als man ihn im März gefunden hatte.

Somit war eine bedeutende, an eine jährliche Periode gebundene Ortsveränderung des Sternes unwiderleglich nachgewieſen; allein es war nicht die geſuchte Parallaxe, ſondern eine Folge der Aberration des Lichtes, welche im nächſten Buche beſprochen werden ſoll. Durch die Aberration des Lichtes war nun, wie wir alsbald ſehen werden, die Bewegung der Erde um die Sonne ebenſo unwiderleglich dargethan, wie es durch die Nachweiſung der Parallaxe hätte geſchehen können; allein ohne die Größe der jährlichen Parallaxe ſelbſt gemeſſen zu haben, blieb es doch unmöglich, die Entfernung der Fixſterne zu beſtimmen.

Die Entdeckung der Aberration des Lichtes mußte der Nachweiſung einer jährlichen Parallaxe nothwendig vorausgehen; denn aus den Beobachtungen läßt ſich die Parallaxe erſt dann nachweiſen, wenn man die Wirkungen der Aberration in Abzug bringt.

Von der Anſicht ausgehend, daß die hellſten Fixſterne uns wohl auch die nächſten ſein möchten, ſuchte Piazzi (1805) die Parallaxe der Wega, des Alde-

daran, des Sirius und des Procyon zu ermitteln, und glaubte auch eine solche aufgefunden zu haben; doch fehlt seinen Resultaten die nöthige Sicherheit, wahrscheinlich in Folge des zu häufigen Gebrauches, welchen Piazzi von seinen Instrumenten gemacht hat.

Im Jahre 1838 gelang es endlich Bessel, die Parallaxe des Doppelsterns 61 cygni, an welchem er bereits 1812 eine bedeutende eigene Bewegung nachgewiesen hatte, und von welchem sich eben deshalb vermuthen ließ, daß er zu den uns näher liegenden Fixsternen gehöre, außer Zweifel zu setzen. Bei einem wahrscheinlichen Fehler von 0,02″ ist, nach Bessel's Messungen, die jährliche Parallaxe von 61 cygni gleich 0,37 Secunden.

Die Methode, durch welche Bessel zu diesem Resultat gelangte, ist von derjenigen abweichend, welche oben angedeutet wurde. Bei der Bestimmung der Zenithdistanz können zahlreiche Fehlerquellen die Genauigkeit des Resultates beeinträchtigen, z. B. nicht vollständig genaue Einstellung des Fernrohrs, Fehler im Ablesen des Nonius, Fehler in der Theilung selbst; ungleiche Erwärmung der einzelnen Theile des Instrumentes, wodurch Spannungen und Verschiebungen hervorgebracht werden. Dazu kommt noch, daß die Beobachtungsresultate in Beziehung auf Aberration, atmosphärische Refraction u. s. w. corrigirt werden müssen.

Die Methode, welche Bessel wählte, besteht darin, zu verschiedenen Zeiten des Jahres den Abstand des zu prüfenden Sternes von benachbarten Sternen zu messen, welche mit ihm gleichzeitig im Gesichtsfelde des Fernrohres erscheinen. Hier sind nun die Einflüsse der Aberration und Refraction eliminirt, weil sie für beide Sterne so gut wie gleich sind, und ebenso fallen auch die übrigen oben angedeuteten Fehlerquellen weg. Man erhält auf diese Weise eigentlich nur die Differenz der jährlichen Parallaxe der beiden Sterne, deren Positionen man mit einander vergleicht, und nur, wenn man die Parallaxe des einen als verschwindend klein annehmen kann, die jährliche Parallaxe des anderen.

Fig. 160.

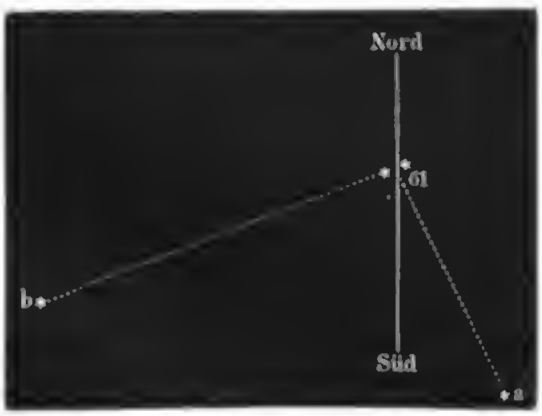


Fig. 160 stellt die gegenseitige Stellung des Doppelsterns 61 cygni und zweier Sterne neunter bis zehnter Größe dar, mit deren Lage Bessel die des Doppelsternes verglich. *a* ist im Mittel nur 7′ 22″, *b* nur 11′ 46″ von dem Punkte entfernt, welcher in der Mitte der beiden Sterne 61 cygni liegt. Der Abstand dieser beiden Sterne ist in unserer Figur, der Deutlichkeit halber, doppelt so groß dargestellt, als es im Verhältniß der Entfernung der beiden Sterne *a* und *b* eigentlich sein sollte.

Bessel hat seine Beobachtungen am 16. August 1837 angefangen und bis zum 2. October 1838 fortgesetzt. In dieser Zeit sind 85 Vergleichungen des Sternes 61, d. h. des Punktes, welcher in der Mitte zwischen beiden Sternchen liegt, mit dem Sterne *a* und 98 mit dem Sterne *b* gelungen. Jede derselben ist das mittlere Resultat mehrerer, gewöhnlich 16 in derselben Nacht gemachter Wiederholungen der Messung.

Aus diesen Messungen hat sich nun in der That herausgestellt, daß, auf den Stern *a* bezogen, 61 cygni im Laufe eines Jahres eine Ellipse beschreibt, deren halbe große Axe 0,37″ ist, und daß, ganz wie es die Parallaxe fordert, die Entfernung zwischen *a* und 61 cygni zu Anfange des Jahres am kleinsten, in der Mitte am größten ist. Betrachtet man nun die Parallaxe von *a* als 0, so ist demnach die jährliche Parallaxe von 61 cygni gleich 0,37″, wie bereits oben angeführt wurde.

Durch die Vergleichung unseres Doppelsternes mit *b* ergab sich die Differenz der Parallaxe beider Sterne gleich 0,26″, woraus denn hervorgeht, daß höchst wahrscheinlich *b* selbst eine merkliche Parallaxe hat.

Nach Peters hat man bereits für 33 Sterne die jährlichen Parallaxen bestimmt; sie ist am größten für diejenigen fünf Sterne, welche sich in der folgenden kleinen Tabelle verzeichnet finden.

Fixsterne.	Parallaxe.	Entfernung.
α Centauri	0,91″	220 000 Erdweiten.
61 cygni	0,37	550 000 »
Sirius	0,23	890 000 »
α lyrae	0,21	970 000 »
Arcturus	0,13	1 600 000 »

Der schöne Doppelstern α Centauri, nach dem Sirius der hellste Stern des Firmamentes, aber bei uns nicht sichtbar, ist demnach unter allen Fixsternen unserem Sonnensystem am nächsten. Seine Parallaxe ist durch die von Henderson im Jahre 1832 und von Maclear im Jahre 1839 am Cap der guten Hoffnung angestellten Beobachtungen bestimmt worden.

104 **Doppelsterne.** Als man dahin gekommen war, das Auge für den Anblick des Himmels durch Fernrohre zu schärfen, bemerkte man bald, daß an mehreren Stellen, wo das freie Auge nur einen einfachen Stern wahrgenommen hatte, zwei oder manchmal noch mehr Sterne neben einander standen. Man nannte solche durch Fernrohre trennbare Punkte Doppelsterne.

Bis zum Jahre 1783 hatte W. Herschel bereits 450 Doppelsterne beobachtet, deren Distanz kleiner war als 32″.

Anfangs war Herschel der Ansicht, daß das nahe Zusammenstehen solcher Sterne nur zufällig sei; als aber die Anzahl der beobachteten Doppelsterne immer mehr zunahm, wurde es höchst unwahrscheinlich, daß diese Doppelsterne, von unserem Standpunkte aus gesehen, nur eben zufällig nahe bei einander zu stehen schienen, und er gelangte nun zu der Ueberzeugung, daß die Mehrzahl der Doppelsterne in der That nicht bloß optisch einander nahe, sondern daß sie auch physisch in näherer Beziehung zu einander stehen.

Die fortgesetzte genaue Beobachtung der Doppelsterne durch mehrere ausgezeichnete Astronomen, namentlich durch Struve in Dorpat, hat nun diese Ansicht über allen Zweifel erhoben.

Struve hat bereits 2641 Doppelsterne verzeichnet, unter denen sich 113 dreifache, 9 vierfache und 2 fünffache befinden.

Gewöhnlich ist einer der beiden Sterne viel kleiner als der andere, z. B. beim Polarsterne, wo der eine ein Stern zweiter, der andere elfter Größe ist. Bei anderen Doppelsternen dagegen sind beide einander an Größe mehr gleich, wie z. B. bei γ arietis, wo beide Sterne fünfter Größe sind. Castor besteht aus einem Stern dritter und einem Stern vierter Größe. Der Doppelstern γ leonis wird durch einen Stern zweiter und einen dritter Größe gebildet; γ virginis besteht aus zwei Sternen dritter Größe u. s. w.

Die Doppelsterne sind ein treffliches Prüfungsmittel für Fernrohre.

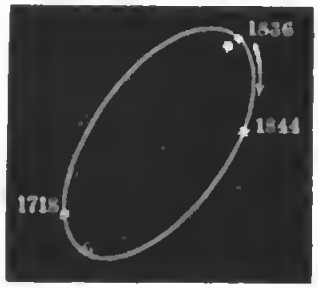
Den Stern Mizar, im Schwanz des großen Bären, kann ein scharfes Auge bei sehr reiner Luft schon ohne alle Bewaffnung als einen doppelten erkennen, d. h. dicht bei dem Hauptsterne erblickt man einen kleineren, welcher Alkor oder das Reiterchen genannt wird. Schon durch ein Theaterfernrohr erblickt man Mizar und Alkor ziemlich weit getrennt, während durch Fernrohre von 50- bis 70facher Vergrößerung beide Sterne schon so weit von einander getrennt erscheinen, daß man nicht mehr versucht ist, sie als zusammengehörig anzusehen. Durch ein solches Fernrohr erkennt man aber nun den Hauptstern Mizar selbst als einen wahren Doppelstern. Um den Doppelstern γ Andromedae oder α der Jagdhunde aufzulösen, ist schon ein gutes zweifüßiges Fernrohr von 50- bis 70facher Vergrößerung nöthig. Ein vierfüßiges Fernrohr von 100- bis 120facher Vergrößerung löst Castor und den Polarstern auf. Um aber die beiden Sterne von γ virginis und β Orionis getrennt zu sehen, muß man schon sehr gute Instrumente in Anwendung bringen.

Wenn die Doppelsterne wirklich physische Doppelsterne sind, so werden sie auch eine gegenseitige Wirkung auf einander ausüben, sie werden ein System bilden und um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen; die Folge einer solchen Bewegung wird aber die sein, daß nicht allein die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, ihre Lage am Himmel ändert, sondern daß auch die scheinbare Entfernung derselben variirt. Bei vielen Doppelsternen hat man nun eine solche Stellungsveränderung mit voller Gewißheit nachgewiesen.

Castor wurde seit 1729 als Doppelstern beobachtet, und seit jener Zeit hat der Begleiter bereits 100° in seiner scheinbaren Bahn um den Hauptstern zurückgelegt.

Bradley erkannte bereits im Jahre 1718 γ virginis als Doppelſtern; damals betrug der Abſtand der beiden Sterne 7″. Anfangs 1836 war ihre Entfernung ſo klein, daß ſie wie ein einfacher Stern erſchienen; ſeitdem iſt aber ihr Abſtand wieder gewachſen; dabei drehte ſich die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, von Südweſt durch Weſt, Nord u. ſ. w. ſeit der erſten Beobachtung um mehr als 300°. Nimmt man den einen als feſt an, ſo iſt die Bahn, welche der andere um ihn beſchreibt, eine Ellipſe, wie es Fig. 161 darſtellt. Es ſind in dieſer Figur auch die Stellen bezeichnet, welche der bei der erſten Beobachtung ſüdweſtlich ſtehende Stern zu Anfang des Jahres 1836 und 1844 einnahm, wenn man den anderen zum Ausgangspunkte der Ortsbeſtimmung macht. Im Jahre 1838 war der Abſtand der beiden Sterne bereits wieder 1″. Da jetzt die Entfernung der beiden Sterne noch im Wachſen begriffen iſt, ſo wird dieſer Doppelſtern auch wieder leichter aufzulöſen ſein, als zu Anfang der 40er Jahre. Die Umlaufszeit dieſes Doppelſternes beträgt 169 Jahre; im Jahre 1875 wird alſo die gegenſeitige Stellung dieſelbe ſein, wie zu Bradley's Zeit.

Fig. 161.



Folgende Tabelle enthält einige bereits beſtimmte Umlaufszeiten von Doppelſternen:

ζ Herculis	30 Jahre
ξ ursae majoris	61 »
p Ophiuchi	74 »
α Centauri	77 »
γ virginis	169 »
Caſtor	153 »
σ coronae	608 »

Die Bahnen der Doppelſterne würden uns dann in ihrer wahren Geſtalt, alſo unverkürzt erſcheinen, wenn die von ihnen zur Erde gezogene Linie rechtwinklig auf der Bahnebene ſtände; dies iſt aber faſt nie der Fall, und deshalb ſehen wir die Doppelſternbahnen faſt immer verkürzt. So zeigt Fig. 162 die ſcheinbare und die aus derſelben abgeleitete wahre Bahn des Doppelſternes μ coronae, deſſen Umlaufszeit 42,5 Jahre beträgt.

Fig. 162.

Die Zahl der Doppelſterne, deren Bahnelemente bis jetzt ermittelt worden ſind, beträgt 16. An vielen anderen hat man zwar gegenſeitige Verrückungen wahrgenommen, doch reichen die Beobachtungen nicht hin, um mit einiger Sicherheit Umlaufszeit und Geſtalt der Bahn daraus abzuleiten. Bei anderen hat man endlich noch gar-

keine Stellungsänderung bemerkt, und diese sind wahrscheinlich nur optische, nicht physische Doppelsterne.

Eine genauere Untersuchung der Doppelsternbahnen zeigt, daß sie vollkommen den Kepler'schen Gesetzen entsprechen, daß also in den entferntesten Himmelsräumen, so weit unsere Blicke nur mit Hülfe der besten Fernrohre vorzudringen vermögen, die allgemeine Massenanziehung ganz in derselben Weise die Bewegungen der Himmelskörper beherrscht, wie dies in unserem Planetensystem der Fall ist. Das Gesetz der allgemeinen Schwere erstreckt sich über die ganze Schöpfung.

Ohne Zweifel sind alle Fixsterne selbst leuchtende Weltkörper, wie unsere Sonne, und um sie kreisen wohl Planeten, welche von ihnen Licht und Wärme empfangen, wie wir von der Sonne. Auch die Doppelsterne bilden solche Systeme, welche sich aber von unserem Planetensysteme, in welchem sich nur ein Centralkörper von weitaus überwiegender Masse befindet, dadurch unterscheiden, daß sie zwei Sonnen enthalten, welche selbst um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen.

Die dunklen Planeten jener Fixsternsysteme werden wohl für immer der menschlichen Beobachtung entgehen.

Fortschreiten unseres ganzen Planetensystemes im Weltraume. 105 Die eigenen Bewegungen der Fixsterne, welche im ersten Paragraphen dieses Capitels besprochen wurden, finden nach den verschiedensten Richtungen Statt, aber doch zeigt sich, daß die Bewegung nach einer bestimmten Richtung hin entschieden vorherrschend ist, so daß sich die meisten Fixsterne, an denen man eine solche fortschreitende Bewegung wahrgenommen hat, scheinbar einem bestimmten Punkte des Himmels nähern; am wahrscheinlichsten ist es nun, daß diese den verschiedenen Fixsternen gemeinsame Bewegung von einer in entgegengesetzter Richtung stattfindenden Bewegung unserer Sonne herrührt. Nach W. Herschel's Bestimmungen liegt der Punkt, gegen welchen sich unsere Sonne sammt allen sie umkreisenden Planeten und Kometen hinbewegt, nahe beim Sternbilde des Hercules (260° 44′ Rectascension, 26° 16′ nördliche Declination), womit die Bestimmungen von Argelander, Gauß und Struve nahezu übereinstimmen. Galloway versuchte es, den Punkt des Himmels, gegen welchen sich unser Sonnensystem hinbewegt, nur aus der eigenen Bewegung von Fixsternen der südlichen Hemisphäre abzuleiten, und gelangte ebenfalls zu einem Resultate, welches sehr nahe mit dem aus nördlichen Sternen berechneten übereinstimmt (260° Rectascension, 34° 23′ nördliche Declination).

Nun ist es aber nicht wahrscheinlich, daß die fortschreitende Bewegung unseres Planetensystemes im Weltraume eine geradlinige ist, vielmehr ist wohl die innerhalb mäßiger Gränzen bestimmte Richtung dieser Bewegung nur die Tangente seiner Bahn.

Nehmen wir nun an, daß unser Sonnensystem mit allen verschieden entfernten Fixsternen um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt rolire, so ist klar,

daß der Mittelpunkt dieſer Kreisbewegungen 90° von dem Punkte entfernt liegen müſſe, gegen welchen ſich unſer Sonnenſyſtem hinbewegt. Mädler ſucht den fraglichen Schwerpunkt in der Plejadengruppe, und zwar nahe bei Alcyone, dem hellſten Sterne derſelben.

Die Anſicht, welche man wohl früher hegte, daß unſere Sonne ſammt allen ihren Planeten und Kometen ſelbſt wieder um einen ſelbſtleuchtenden oder dunklen Centralkörper rotire, wie Jupiter und Saturn ſammt ihren Trabanten um die Sonne, gehört nur in das Reich der mythiſchen Hypotheſen.

Zweites Buch.

Kosmische und atmosphärische Lichterscheinungen.

Erſtes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und ſeine Verbreitung im Weltraume.

Photometriſche Vergleichung der Fixſterne. Die Fixſterne 106
werden, wie bereits im erſten Capitel des erſten Buches angeführt wurde, in verſchiedene Größenclaſſen eingetheilt. Da nun die Fixſterne ſelbſt bei der ſtärkſten Vergrößerung keinen wirklichen, meßbaren Durchmeſſer zeigen, da alſo von einer Größe eigentlich bei ihnen keine Rede ſein kann, ſo bezieht ſich jene Eintheilung nicht ſowohl auf die Größe, als vielmehr auf den Glanz der Fixſterne.

Die Eintheilung in Sterne erſter, zweiter, dritter u. ſ. w. Größe iſt übrigens eine ganz willkürliche und conventionelle; es liegen ihr durchaus keine vergleichenden Meſſungen der Lichtſtärke der Fixſterne zu Grunde. Der Erſte, welcher eine ſolche Vergleichung verſuchte, war der ältere Herſchel, welcher folgende Methode in Anwendung brachte:

Zwei ſiebenfüßige, vollkommen gleiche Teleſkope, welche alſo denſelben Stern mit gleicher Helligkeit zeigten, wurden ſo neben einander geſtellt, daß der Beobachter ſich ungefähr in einer Secunde von dem Ocular des einen an das des anderen begeben konnte. Vor dasjenige Fernrohr nun, welches auf den helleren Stern gerichtet war, wurden Schirme vorgeſchoben, welche der Reihe nach immer kleinere und kleinere centrale kreisförmige Oeffnungen hatten, bis man endlich bei einer Größe der Oeffnung ankam, durch welche der hellere Stern gerade eben ſo erſchien wie der andere durch das zweite Teleſkop, deſſen Oeffnung ganz frei war.

War z. B. das eine Fernrohr auf den Arcturus (α Bootis), das zweite auf γ des großen Bären gerichtet, ſo zeigten ſich beide Sterne gleich hell, wenn vor das erſte Fernrohr ein Schirm geſetzt war, deſſen Oeffnung einen viermal kleineren Flächeninhalt hatte als die freie Oeffnung des zweiten Fernrohrs, und daraus geht hervor, daß uns α Bootis viermal ſo viel Licht zuſendet als γ ursae majoris.

Durch ſolche Meſſungen hat ſich nun ergeben, daß im Durchſchnitt die Lichtintenſität der Sterne zweiter, dritter u. ſ. w. Größe viermal, neunmal u. ſ. w. geringer iſt als die Lichtſtärke der Sterne erſter Größe.

Da das Licht im Verhältniß des Quadrats der Entfernung geſchwächt wird, ſo würde Arcturus in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung noch als ein Stern zweiter, dritter und vierter Größe erſcheinen.

Die eben beſprochene Methode, die Lichtſtärke verſchiedener Sterne zu vergleichen, leidet beſonders an dem Uebelſtande, daß man die beiden Sterne nicht gleichzeitig neben einander ſieht. Dieſem Uebelſtande hat man auf verſchiedene Weiſe durch Spiegelvorrichtungen abzuhelfen geſucht.

Im Jahre 1846 hat Seidel nach einer von Steinheil herrührenden Methode eine Reihe photometriſcher Fixſternvergleichungen angeſtellt. Nimmt man die Helligkeit der Wega zur Einheit, ſo iſt nach dieſen Meſſungen Folgendes die Lichtſtärke der bei uns hinlänglich deutlich erſcheinenden Sterne erſter Größe:

Sirius	= 5,13	Spica	= 0,49
Rigel	1,30	Atair	0,40
Wega	1,00	Aldebaran	0,36
Arcturus	0,84	Deneb	0,35
Capella	0,83	Regulus	0,34
Procyon	0,71	Pollux	0,30

α Orionis fehlt hier, weil er veränderlich iſt.

Da ein Stern ſechster Größe ungefähr 36mal lichtſchwächer iſt als Wega, ſo würden alſo erſt 180 Sterne ſechster Größe zuſammen die Helligkeit des Sirius erzeugen.

Durch Vergleichung der Wega mit Mars und Jupiter fand Seidel die Lichtſtärke dieſer beiden Planeten zur Zeit der Oppoſition gleich 6,8 und 8,5.

Wollaſton verglich ſowohl den durch Sonnenlicht als auch den durch Mondlicht bewirkten Schatten mit dem Schatten eines Kerzenlichtes, und fand ſo, daß die Sonne 800000mal lichtſtärker ſei als der Vollmond. Durch Vergleichung der von einer Glaskugel reflectirten Bilder des Mondes und des Sirius ergab ſich ferner, daß uns der Mond 2500mal heller leuchtet als Sirius, und demnach wäre die Helligkeit des Sirius 2000 Millionen mal ſchwächer als die der Sonne. Nimmt man nun die jährliche Parallaxe des Sirius gleich 0,23″ an, ſo überträfe alſo die abſolute Lichtſtärke des Sirius die der Sonne 63mal.

Wenn alſo unſere Sonne in derſelben Entfernung von uns ſich befände, wie Sirius, ſo würde ſie 63mal lichtſchwächer ſein als dieſer, 12mal lichtſchwächer als Wega; ſie würde uns alſo lichtſchwächer erſcheinen als ein Stern dritter Größe.

Auf der im Herbſt 1858 zu Karlsruh gehaltenen Naturforſcher-Verſammlung machte Schwerd Mittheilung über ein von ihm zur photometriſchen Verglei-

chung der Sterne construirtes Instrument, welches an Genauigkeit und Sicherheit alles übertrifft, was in dieser Beziehung bis jetzt geleistet worden ist.

Das Instrument besteht im Wesentlichen aus zwei nach allen Richtungen beweglichen Fernrohren, welche auf die zu vergleichenden Sterne gerichtet werden, deren Bilder aber mittelst äußerst sinnreichen, hier nicht näher zu beschreibenden Vorrichtungen gleichzeitig und unmittelbar nebeneinanderstehend gesehen werden.

Veränderliche Sterne. Der erste Stern, an welchem ein regelmäßiger 107
Wechsel der Lichtstärke beobachtet wurde, ist o Ceti. David Fabricius hatte ihn am 13. August 1596 als einen Stern dritter Größe beobachtet und im October desselben Jahres verschwinden sehen; die periodische Veränderlichkeit dieses Sternes entdeckte aber Holwarde, Professor zu Franeker, im Jahre 1639.

Der fragliche Stern, welcher dieser merkwürdigen Erscheinung wegen auch Mira Ceti genannt wurde, erreicht manchmal den Glanz eines Sternes zweiter Größe; seine Helligkeit nimmt aber dann wieder so ab, daß er für das bloße Auge vollständig verschwindet. Mit Fernrohren ist er zur Zeit seines Lichtminimums schon als ein Stern elfter bis zwölfter Größe beobachtet worden, so daß es nicht ganz ausgemacht ist, ob er immer ganz verschwindet. Das Maximum seines Lichtglanzes erreicht ebenfalls nicht immer dieselbe Größe; während er manchmal, wie bereits bemerkt wurde, die Helligkeit eines Sternes zweiter Größe erreicht, wird er oft auch zur Zeit seines Maximums nur noch einem Stern vierter Größe gleich.

Die Periode, in welcher Mira Ceti den ganzen Cyclus der erwähnten Veränderungen durchläuft, dauert 331 Tage 20 Stunden. Im Mittel dauert die Zeit der Lichtzunahme von der sechsten Größe bis zum Maximum 50 Tage, die der Lichtabnahme vom Maximum bis zur sechsten Größe 69 Tage, so daß der Stern ungefähr 4 Monate mit bloßen Augen sichtbar bleibt. Zuweilen hat diese Sichtbarkeit sich auf 5 Monate gesteigert, während sie zu anderen Zeiten nur 3 Monate gewesen ist. Ebenso ist auch die Dauer der Zu- und Abnahme des Lichtes großen Schwankungen unterworfen.

Im Jahre 1669 erkannte Montanari die Veränderlichkeit des Sternes β Persei (Algol am Meduſenhaupte), der unter allen veränderlichen Sternen die kürzeste Periode zeigt; denn diese beträgt nur 2 Tage 20 Minuten 49 Secunden. Zur Zeit des Maximums ist Algol einem Sterne zweiter, zur Zeit des Minimums nur noch einem Sterne vierter Größe gleich.

Bis jetzt hat man 24 Sterne als periodisch veränderlich erkannt. Die folgende kleine Tabelle veränderlicher Sterne ist ein Auszug aus der von Argelander entworfenen, welche Humboldt im dritten Bande des Kosmos S. 243 mittheilt.

Bezeichnung des Sternes.	Dauer der Periode.			Helligkeit im	
				Maximum.	Minimum.
	Tage.	Stunden.	Minuten.	Größe.	Größe.
o Ceti	331	20	—	4 bis 2,1	0
β Persei	2	20	49	2,3	4
χ cygni	406	1	30	6,7 » 4	0
η aquilae	7	4	14	3,4	5,4
β lyrae	12	21	45	3,4	4,5
α Herculis	66	8	—	3	3,4
α Cassiopeiae . . .	79	3	—	2	3,2
α Orionis	196	0	—	1	1,2

Die Zwiſchenſtufen zwiſchen erſter und zweiter, zweiter und dritter Größe u. ſ. w. ſind in dieſer Tabelle durch Decimalbrüche bezeichnet.

108 **Temporäre Sterne.** Manchmal erſcheinen plötzlich neue Sterne am Himmel, welche kurze Zeit glänzen, um alsbald wieder zu verſchwinden. So erſchien im Jahre 389 ein neuer Stern nahe bei α aquilae, welcher mit der Helligkeit der Venus aufloderte und nach drei Wochen ſpurlos verſchwand.

In der erſten Hälfte des neunten Jahrhunderts beobachteten die arabiſchen Aſtronomen einen neuen Stern im Scorpion, »deſſen Licht dem des Mondes in ſeinen Vierteln« geglichen haben ſoll, und welcher ſchon nach 4 Monaten wieder verſchwand.

Der merkwürdigſte unter den temporären Sternen iſt der von 1572, welchen auch Tycho de Brahe beobachtete. Er erſchien am 11. November 1572 im Sternbilde der Caſſiopeja; alsbald glänzend wie Sirius, nahm die Lichtſtärke des neuen Sternes noch zu, bis er ſelbſt den Jupiter an Helligkeit übertraf und ſelbſt am Tage geſehen werden konnte. Im December 1572 begann ſein Glanz abzunehmen und verſchwand endlich im März 1574, 16 Monate nach ſeinem erſten Erſcheinen. Anfangs blendend weiß, wurde er im März 1573 röthlich und im Januar 1574 wieder weiß.

Ein böhmiſcher Aſtronom, Cyprianus Leovitius, verſichert, in einer handſchriftlichen Chronik die Nachricht gefunden zu haben, daß im Jahre 945 ſowohl als auch im Jahre 1264 zwiſchen den Conſtellationen des Cepheus und der Caſſiopeja ganz nahe der Milchſtraße ein glänzender Stern erſchienen ſei; darauf gründet ſich nun die Anſicht einiger Aſtronomen, daß der ſchöne Stern ein periodiſcher ſei und daß ſeine Periode 313 Jahre betrage. Wenn dieſe Anſicht richtig iſt, ſo müßte der fragliche Stern im Jahre 1885 wieder erſcheinen.

Im Jahre 1604 erſchien ein neuer Stern im Ophiuchus, welcher die Helligkeit des Jupiter erreichte, aber dem Sterne von 1572 nicht ganz gleich kam und auch nicht bei Tage geſehen werden konnte. Dieſer Stern wurde beſonders

von Kepler beobachtet. Er erſchien im October 1604. Zu Anfang des Januar 1605 war er noch heller als Antares, aber weniger hell als Arcturus; im März dieſes Jahres war er nur noch dritter Größe. Vier Monate lang konnte er wegen der Nähe der Sonne nicht beobachtet werden. Im März 1606 verſchwand er ſpurlos.

Im Jahre 1848 beobachtete Hind einen neuen Stern fünfter Größe gleichfalls im Ophiuchus. Nach Lichtenberger's Beobachtungen war er im Jahre 1850 nur noch elfter Größe und wahrſcheinlich dem Verſchwinden nahe.

Die temporären Sterne gehören zu den ſeltenen Erſcheinungen; denn in den letzten 2000 Jahren können deren kaum 20 bis 22 mit einiger Sicherheit aufgeführt werden.

Farbige Sterne. Ptolemäus führt in ſeinem Fixſternkataloge ſechs 109
röthliche Sterne an, nämlich Arcturus, Aldebaran, Pollux, Antares, Beteigeuze und Sirius. Von dieſen haben fünf noch jetzt ein röthliches Licht, während Sirius gegenwärtig vollkommen weiß iſt.

Entſchieden weiß ſind, außer Sirius, unter den helleren Sternen gegenwärtig Wega, Deneb, Regulus und Spica. Gelbliches Licht haben Procyon, Atair, der Polarſtern und beſonders β ursae minoris. Bläulich iſt η lyrae.

Auch unter den Doppelſternen findet man viele farbige, und zwar ſind bald die beiden Sterne gleichfarbig, bald haben ſie verſchiedene Farben.

So ſind z. B. die beiden Sterne von γ virginis (3^m und 3^m) gelblich, von ϱ Herculis (4^m und 5^m) grünlich, von ξ ursae majoris (2^m und 4^m) mattgrün u. ſ. w.

Bei vielen anderen Doppelſternen zeigt ſich dagegen eine merkliche Verſchiedenheit der Farbe. So iſt z. B. bei α ursae minoris der Hauptſtern gelb, der Begleiter weiß; bei α piscium der größere (3^m) grünlich, der kleinere (4^m) blau; bei ξ Orionis der Hauptſtern (2^m) roth, der Nebenſtern (6^m) rothgelb; bei γ leonis iſt der Hauptſtern (2^m) goldgelb, der kleinere ($3{,}5^m$) röthlich; bei ε Bootis iſt der Hauptſtern (3^m) roth, der Begleiter (6^m) blau u. ſ. w.

Ein ſchöner dreifacher Stern iſt γ Andromedae; der Hauptſtern (3^m) iſt goldgelb, die beiden kaum $^1/_2$ Secunde von einander entfernten Begleiter ſind bläulich violett.

Anſehen der Sterne mit bloſſem Auge und mit dem Fernrohre betrachtet. Wenn man die Sterne mit unbewaffnetem Auge betrachtet, ſo erſcheinen ſie nicht als einfache helle Punkte, ſondern ſie erſcheinen mit divergirenden Strahlen verſehen, wodurch das Bild des Sterns eine ziemliche Ausdehnung erhält. Dieſe Strahlen ſind es, welche verhindern, daß man neben Jupiter deſſen Trabanten noch unterſcheiden kann, welche groß und hell genug ſind, um als iſolirt ſtehende Sterne ohne Fernrohre ſichtbar zu ſein. 110

Dieſer Umſtand, daß das Bild der Sterne mit bloßem Auge betrachtet durch divergirende Strahlen vergrößert erſcheint, hat ohne Zweifel ſeine Quelle im Auge des Beobachters; ſphäriſche Aberration, Diffraction an den Rändern der Pupille oder an den Wimpern, die Ausbreitung des Lichteindrucks auf der

Netzhaut von dem unmittelbar gereizten Punkte aus wirken hier zusammen, um die besprochene Erscheinung hervorzubringen. Daß dieselbe subjectiver Natur ist, geht daraus hervor, daß sie bei verschiedenen Personen oft sehr ungleich ist. In Folge der Sternstrahlung schrieben Kepler und Tycho dem Sirius einen Durchmesser von 4′ und 2′ 20″ zu.

Durch Fernrohre wird das Bild der Fixsterne weit reiner, aber immer bleibt ihnen selbst bei den besten Instrumenten ein falscher, facticer Durchmesser. Daß dieser Durchmesser nicht der wahre Winkeldurchmesser ist, unter welchem uns das Fernrohr den Stern zeigen sollte, geht daraus hervor, daß er bei wachsender Vergrößerung nicht zunimmt, wie der Durchmesser der Planeten. Wenn man einen Doppelstern durch Fernrohre betrachtet, so rücken die beiden Sterne um so weiter von einander weg, je stärker die angewandte Vergrößerung ist, während die Durchmesser der Sterne selbst bei wachsender Vergrößerung eher kleiner werden.

Bei gleicher Vergrößerung ist der falsche Durchmesser der Fixsterne, welchen die Fernrohre zeigen, um so kleiner, je größer der Durchmesser des Objectivs ist.

Daß durch Fernrohre Sterne sichtbar werden, welche man mit bloßem Auge nicht sehen kann, ist demnach nicht sowohl eine Folge der Vergrößerung, als vielmehr des Umstandes, daß bei großer Oeffnung des Objectivs eine weit größere Menge von Lichtstrahlen von dem Sterne ins Auge gelangt, als ohne das Fernrohr durch die Pupillenöffnung eingedrungen sein würde. Die raumdurchdringende Kraft der Fernrohre, vermöge deren man gewissermaßen weiter in die Himmelsräume vordringen und Sterne erblicken kann, die ohne Fernrohr unsichtbar bleiben, ist also vorzugsweise durch die Größe der Objectivöffnung bedingt.

111 **Anwendung des Polariskops zur Prüfung des Lichtes der Gestirne.** Um zu prüfen, ob das Licht des im Jahre 1819 erschienenen Kometen polarisirt sei oder nicht, wandte Arago ein achromatisirtes Kalkspathprisma, Fig. 163, an. Wenn man einen Fixstern durch dasselbe betrachtet, so

Fig. 163.

sind die beiden Bilder stets vollkommen gleich, wie man das Prisma auch um seine Axe drehen mag; ein Beweis also, daß das Licht der Fixsterne nicht polarisirt ist. Schaut man dagegen durch das Prisma nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so findet man, dasselbe um seine Axe drehend, bald eine Stellung, bei welcher das eine Bild hell, das andere dunkel ist.

Später verbesserte Arago die Vorrichtung dahin, daß er mit dem doppeltbrechenden Prisma ein dünnes Gypsblättchen verband, welches an der dem Auge abgewandten Seite des Prismas so befestigt wird, daß die Schwingungsebenen des Gypsblättchens einen Winkel von 45° mit den Schwingungsebenen des Prismas machen (Lehrbuch der Physik, 5. Aufl. 1. Band §. 288). Schaut man nun durch das Prisma und das dünne Gypsblättchen nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so erblickt man die beiden Bilder bei gehöriger

Stellung des Prismas complementär gefärbt, alſo je nach der Dicke des Blättchens roth und grün oder blau und gelb u. ſ. w.

Das ſo verbeſſerte Inſtrument nennt Arago Polariſkop.

Nach Arago's Beobachtungen mit dem Polariſkop war das Licht des Halley'ſchen Kometen im Jahre 1835 polariſirt.

Auch das Licht des Donati'ſchen Kometen (Herbſt 1858) ſoll nach der Behauptung mehrerer Beobachter polariſirt geweſen ſein. Mir gelang es mit Hülfe eines Polariſkops der oben beſchriebenen Art, welches doch ſchon bei ganz ſchwach polariſirtem Lichte ſehr entſchiedene Farben zeigte, kaum zweifelhafte Spuren von Polariſation am Donati'ſchen Kometen wahrzunehmen.

Wenn man glühende feſte Körper, etwa eine glühende Eiſenkugel, mit dem Polariſkop unterſucht, ſo findet man, daß ſie an den Rändern Spuren von Polariſation zeigen, welche bei glühenden Gaſen, alſo bei Kerzen- und Lampenflammen, vollkommen fehlen. Da nun die Sonne keine Spur von Polariſation des Lichtes zeigt, ſo folgert Arago, daß man es hier nicht mit einem glühenden feſten Körper zu thun habe, wodurch die bereits oben Seite 103 beſprochenen Anſichten über die Photoſphäre der Sonne ihre Beſtätigung finden.

Wenn man den Vollmond mit dem Polariſkop unterſucht, ſo findet man keine Polariſation des Lichtes, was bei der Richtung, in welcher für dieſen Fall das von der Sonne kommende Licht vom Monde reflectirt wird, nicht anders zu erwarten iſt; dagegen ſoll ſich das Mondlicht, zur Zeit des erſten oder des letzten Viertels mit dem Polariſkop unterſucht, als polariſirt erweiſen. Jedenfalls iſt dieſe Polariſation eine äußerſt geringe.

Daß der Mond und die Planeten uns nur reflectirtes Sonnenlicht zuſenden, geht vorzugsweiſe auch daraus hervor, daß das Licht des Mondes und der Planeten bei prismatiſcher Zerlegung die Fraunhofer'ſchen Linien gerade ebenſo zeigt, wie das Sonnenlicht ſelbſt, während die Gruppen der dunklen Linien im Spectrum des Sirius und anderer Fixſterne in ganz anderer Weiſe vertheilt ſind.

Milchstrasse, Nebelflecken und Sternhaufen. Wenn man bei 112
vollkommen durchſichtiger Luft in einer mondfreien Nacht den Himmel betrachtet, ſo erblickt man auf dem ſchwarzblauen, mit Sternen überſäeten Hintergrunde einen zarten weißen Nebelſtreifen, welcher bei unregelmäßiger Begränzung mit wechſelnder Breite durch eine ganze Reihe von Sternbildern hindurchzieht. Man kann ſeinen Lauf auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV. verfolgen. Er zieht öſtlich vom Sirius vorüber, geht zwiſchen dem kleinen Hunde und Orion hindurch nach den Sternbildern des Perſeus und der Caſſiopeja, läuft ferner durch die Sternbilder des Schwans, des Adlers, des Ophiuchus und des Scorpions, um endlich nach der Stelle wieder zurückzukehren, an welcher wir ihn zuerſt betrachtet haben.

Dieſer neblige Streifen, welcher den Namen der Milchſtraße führt, bildet alſo einen zuſammenhängenden Ring, welcher das ganze Himmelsgewölbe in zwei nicht ganz gleiche Theile ſcheidet. Vom Schwan bis über den Schwanz des

Scorpions hinaus theilt ſich die Milchſtraße in zwei neben einander herlaufend Streifen, welche einen dunklen nebelfreien Raum inſelartig einſchließen.

Außer dieſer in günſtigen Nächten leicht aufzufindenden und zu verfolgenden Milchſtraße zeigt ſich aber am Himmelsgewölbe noch eine große Anzahl kleiner nebliger Flecken, von denen aber nur wenige, wie z. B. der Nebelfleck in der Andromeda, durch ſehr gute Augen ohne Fernrohr wahrgenommen werden können, weshalb ſie denn auch im Alterthume der Beobachtung ganz entgingen.

Simon Marius entdeckte im Jahre 1612 den erſten Nebelfleck, nämlich den nahe bei dem Sterne ν der Andromeda ſtehenden, welcher Fig. 164 abge-

Fig. 164.

Fig. 165.

bildet iſt und deſſen Länge ungefähr $^1/_2$ Grad beträgt. Huyghens entdeckte im Jahre 1656 den ſehr unregelmäßig geſtalteten Nebel Fig. 165 (a. nebenſt. S.) in der Nähe des Sterns i im Wehrgehäng des Orion, welchen ein gutes Auge gleichfalls ohne Fernrohr unterſcheiden kann. Halley kannte im Jahre 1716 in Allem nur ſechs Nebelflecke; durch die Arbeiten von Lacaille und Meſſier

Fig. 166.

wurden 90 weitere bekannt, während W. Herſchel allein mit Hülfe ſeiner mächtigen Teleſkope deren 2500 entdeckte.

Fig. 167.

Viele dieſer Nebel haben eine durchaus unregelmäßige Geſtalt, andere dagegen zeigen eine regelmäßige Anordnung, wie z. B. der von Meſſier entdeckte Nebel in den Jagdhunden, Fig. 166. Ein anderer ringförmiger Nebel, welcher Fig. 167 abgebildet iſt, befindet ſich zwiſchen den Sternen β und γ der Leier.

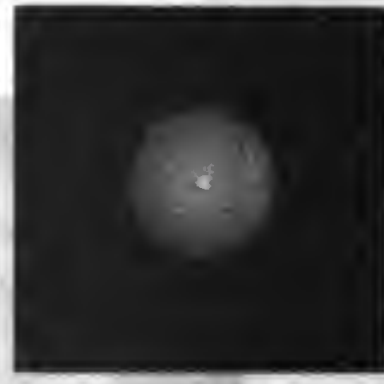
Eine große Anzahl von Nebeln, welche Herſchel entdeckte, ſind rund oder oval und zeigen bei faſt gleichförmiger Helligkeit eine ziemlich ſcharfe Begränzung; wegen ihrer Aehnlichkeit mit dem Anſehen der Planeten wurden ſie von ihren Entdeckern planetariſche Nebel genannt, Fig. 168 (a. f. S.).

Andere Nebel von gleicher äußerer Geſtalt zeigen gegen ihre Mitte hin eine größere Lichtſtärke, und bei einigen iſt die Concentration des Lichtes der

Art, daß in der Mitte des Nebels ein heller Punkt, einem verſchleierten blaſſen oder ſelbſt einem hellen Sterne ähnlich, erſcheint, wie Fig. 169, weshalb ſie Nebelſterne genannt werden.

Fig. 168.

Fig. 169.



Manche Nebel enthalten zwei oder drei ſolcher heller Punkte, wie z. B. die Nebel Fig. 170 und 171, von denen ſich der erſtere im Sternbilde des Schützen, der letztere im Sternbilde des Fuhrmanns befindet.

Fig. 170.

Fig. 171.

Fig. 172.

Fig. 172 ſtellt einen Doppelnebel dar, welcher ſich ungefähr auf der Gränze zwiſchen dem großen Bären und dem Haar der Berenice befindet.

Die Plejaden (Fig. 173 a. f. S.) erſcheinen einem nicht ganz guten Auge nur als ein Nebel, während ein ſcharfes Auge hier 6 oder 7 einzelne Sterne unterſcheidet und man mit einem Fernrohr ihrer 50 bis 60 zählen kann. Ebenſo ſieht man oft durch ſtärkere Teleſkope dicht zuſammengedrängte Sternhaufen, wo man durch ſchwächere Fernrohre nur einen Nebel wahrnehmen konnte.

Die Vergrößerung, welche man zur Auflösung verschiedener Nebel in einzelne Sterne nöthig hat, ist nicht immer die gleiche. Einige Nebel lassen sich schon

Fig. 173.

durch geringere, andere nur durch die stärksten Vergrößerungen und die besten Instrumente auflösen. Fig. 174 stellt einen auflöslichen Nebel im Hercules dar, wie er durch sehr gute und stark vergrößernde Fernrohre gesehen wird.

Fig. 174.

Die Milchstraße gehört zu den auflöslichen Nebeln; denn sie erscheint, durch gute Fernrohre betrachtet, aus zahllosen kleinen dichtgedrängten Sternchen zusammengesetzt.

Die Art, wie uns die Milchstraße erscheint, erklärt sich aus der Annahme, daß die Sterne, aus welchen sie besteht, einen Ring bilden, welcher dem in Fig. 166 abgebildeten ähnlich ist, und daß sich die Sonne sammt ihren Planeten nahezu in der Mitte dieses Ringes befinde.

Obgleich durch Anwendung stets besserer Instrumente immer mehr Nebel aufgelöst wurden, so ist es doch nicht anzunehmen, daß alle Nebel aus einzelnen Sternen zusammengesetzt sind; sondern es ist wahrscheinlicher, daß viele der unauflöslichen Nebel wirklich aus einem diffusen nebelartigen Stoffe bestehen, so daß diese Nebel von ähnlicher Natur sind, wie die Kometen.

Für diese Ansicht spricht namentlich der Umstand, daß es Nebel giebt, welche eine Reihe von Zwischenstufen zwischen den planetarischen Nebeln und

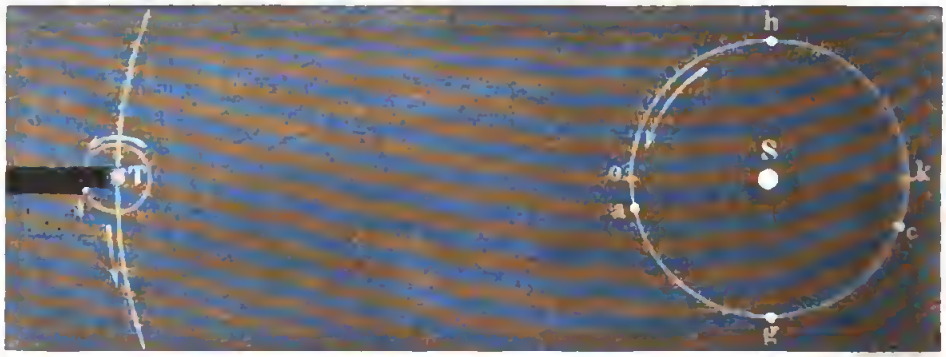
den Nebelsternen bilden, d. h. Nebel, welche der Reihe nach immer stärkere Concentration des Lichtes in der Mitte zeigen, wodurch Herschel auf die Idee geführt wurde, daß der diffuse Stoff, aus welchem diese Nebel bestehen, sich nach und nach verdichtet und daß in Folge dieser Verdichtung Sterne entstehen.

113 **Geschwindigkeit des Lichtes.** Vergeblich hatten die Mitglieder der Florentinischen Akademie durch Versuche auf der Erde die Geschwindigkeit des Lichtes zu ermitteln versucht. Erst dem dänischen Astronomen Römer gelang es durch seine fleißigen Beobachtungen der Jupiterstrabanten, die er in den Jahren 1675 und 1676 mit Cassini dem Aelteren auf der Sternwarte zu Paris anstellte, dieselbe zu bestimmen.

Auf Seite 184 sind bereits die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten besprochen worden. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, ergiebt sich in folgender Weise aus einer genauen Beobachtung der Momente des Eintritts oder des Austritts der Trabanten in oder aus dem Schatten des Jupiter.

In Fig. 175 stelle S die Sonne, der um S gezogene Kreis die Erdbahn und T den Jupiter mit der Bahn eines seiner Trabanten dar. Während sich die Erde von o bis k bewegt, also während der Zeit zwischen der Opposition

Fig. 175.



des Jupiter und der nächsten Conjunction können wir von der Erde aus sehen, wie die Trabanten auf der Ostseite des Schattens aus demselben austreten; während der Zeit zwischen der Conjunction aber bis zur nächsten Opposition können wir nur die Eintritte des Trabanten in den Jupitersschatten beobachten; während dieser Zeit sehen wir den Trabanten westlich vom Jupiter verschwinden.

Ermittelt man die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Austritten eines und desselben Trabanten, etwa des ersten, vergeht, so findet man sie in verschiedenen Perioden nicht gleich. Während der Oppositionsperiode, also wenn die Erde in der Nähe von o steht, oder während der Conjunctionsperiode, wenn also die Erde in der Nähe von k steht, ergiebt sich die Zeit, welche zwischen zwei auf einanderfolgenden Austritten oder zwei auf einanderfolgenden Eintritten vergeht kürzer, als zur Zeit der ersten Quadratur, wenn die Erde

bei g und länger als zur Zeit der zweiten Quadratur, wenn die Erde in der Nähe von h steht.

Dies ist nun eine Folge davon, daß sich das Licht nicht momentan fortpflanzt, sondern daß es zur Durchlaufung größerer Räume eine meßbare Zeit gebraucht.

Zur Zeit der Opposition oder der Conjunction bewegt sich die Erde in Beziehung auf den Jupiter in einer Weise, daß sie sich demselben weder merklich nähert noch sich von demselben entfernt; in diesen Perioden ist also die zwischen zwei auf einander folgenden Ein- oder Austritten vergehende Zeit nahezu die Umlaufszeit des Trabanten um den Jupiter.

In der Nähe der Quadratur g entfernt sich die Erde in gerader Linie von dem Jupiter und die zwischen zwei auf einander folgenden beobachteten Austritten vergehende Zeit ist also gleich der Umlaufszeit des Trabanten + der Zeit, welche das Licht zur Durchlaufung des Weges gebraucht, um welchen sich unterdessen die Erde vom Jupiter entfernt hat.

Zur Zeit derjenigen Quadratur, in welcher man die Eintritte der Trabanten in den Jupitersschatten sehen kann, also wenn sich die Erde ungefähr in h befindet, nähert sie sich fast in gerader Linie dem Jupiter, und demnach ist die Zeit, welche zwischen den beiden Momenten vergeht, in welchen man während dieser Periode zwei aufeinander folgende Eintritte beobachtet, gleich der Umlaufszeit des Trabanten — der Zeit, welche das Licht zum Durchlaufen des Weges gebraucht, um welchen sich während dieses Umlaufs die Erde dem Jupiter genähert hat.

Ein Beispiel mag dies erläutern.

Im Jahre 1851 wurde alsbald nach der Opposition ein Austritt des ersten Trabanten beobachtet am 11. April 15^h 6′ 36,3″; der nächste am 13. April 9^h 35′ 3,0″. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab, so ergiebt sich für die Umlaufszeit des ersten Trabanten

42 Stunden 28′ 26,7″.

Zur Zeit der nächsten Quadratur wurde ein Austritt beobachtet am 14. Juli 10^h 21′ 50,3″ und ein anderer, und zwar von diesem an gerechnet der neunte, am 30. Juli 8^h 39′ 42″. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab und dividirt man durch 9, so ergiebt sich für die zwischen zwei auf einander folgenden Austritten liegende Zeit

42 Stunden 28′ 39″.

Zieht man davon die Umlaufszeit ab, wie sie aus den Aprilbeobachtungen abgeleitet wurde, so ergiebt sich 12,3 Secunden als die Zeit, welche das Licht gebraucht, um den Raum zu durchlaufen, um welchen sich in der Periode der Quadratur die Erde von dem Jupiter entfernt, während der erste Trabant einen Umlauf vollendet.

In einer Secunde geht die Erde in ihrer Bahn um 4 geographische Meilen vorwärts; während $42\frac{1}{2}$ Stunden, der Umlaufszeit des ersten Trabanten, durchläuft sie also einen Raum von 612000 Meilen, und diesen Raum durchläuft das Licht in 12,3 Secunden, in 1 Secunde also einen Weg von 49700 Meilen.

Dies Resultat ist jedoch nicht genau, wie sich denn überhaupt in der angegebenen Weise aus einzelnen Beobachtungen deshalb keine genaueren Resultate ziehen lassen, weil die Trabanten nicht immer genau durch die Mitte des Jupitersschatten gehen und deshalb die Aus- und Eintritte bald etwas früher bald etwas später erfolgen, als wenn die Trabanten stets an derselben Stelle den Jupitersschatten passirten.

Die genaue Umlaufszeit der Trabanten kann nur aus einer größeren Reihe von Beobachtungen mit Genauigkeit ermittelt werden. Sie ist für den ersten Trabanten 42 Stunden 28′ 35″.

Kennt man einmal die Umlaufszeit des Trabanten, kennt man ferner den Moment, in welchem kurz nach der Opposition, als sich etwa die Erde in *a* befand, ein Austritt desselben beobachtet wurde, so kann man berechnen, in welchem Momente, von dem erwähnten an gerechnet, der 100ste Austritt desselben Trabanten beobachtet werden müßte, vorausgesetzt, daß sich das Licht momentan fortpflanzte. (Bei dieser Berechnung darf aber natürlich die Fortbewegung des Jupiter und also auch die Veränderung in der Lage seines Schattens nicht unberücksichtigt bleiben.) Während dieser 100 Umläufe hat sich aber die Erde ungefähr bis *c* fortbewegt, und wenn man nun den Austritt beobachten will, so findet man, daß derselbe *später*, und zwar ungefähr um 15 Minuten nach dem berechneten Moment stattfindet. Die Zeit nun, welche zwischen dem berechneten Moment und dem Zeitpunkte vergeht, in welchem der Austritt wirklich beobachtet wird, ist die Zeit, welche das Licht nöthig hat, um die Entfernung zu durchlaufen, um welche die Erde jetzt, da sie sich in *c* befindet, weiter von dem Jupiter absteht, als da sie noch in *a* war.

Man findet nun die Geschwindigkeit des Lichtes, wenn man die Differenz der Entfernungen durch beobachtete Verspätung dividirt. Es ergiebt sich auf diese Weise, daß das Licht in einer Secunde ungefähr einen Weg von 42000 Meilen zurücklegt, und daß es, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, 8′ 13″ bedarf.

Auf der anderen Hälfte der Erdbahn, zwischen einer Conjunction und der nächsten Opposition werden die Eintritte vor den Momenten eintreten, welche man in obiger Weise von einem Eintritt unmittelbar nach der Conjunction ausgehend berechnet hat.

Bereits auf Seite 242 haben wir die Entfernung derjenigen Sterne kennen gelernt, welche uns am nächsten sind; da wir nun auch die Geschwindigkeit kennen, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, so läßt sich leicht berechnen, welche Zeit das Licht gebraucht, um von einem dieser uns zunächst gelegenen Fixsterne auf die Erde zu gelangen. Es ergiebt sich für

α Centauri	3,5	Jahre
61 cygni	8,7	»
Sirius	14,1	»
Wega	15,3	»
Arcturus	24,3	»

Wenn also plötzlich das Licht des Arcturus verlöschen würde, so würden wir ihn doch noch 24 Jahre nach diesem Ereigniß am Himmel glänzen sehen.

Aberration des Lichts. In der Absicht, eine Parallaxe der Fix- 114
sterne aufzufinden, hatte Bradley im Jahre 1725 eine Reihe genauer Fixsternbeobachtungen begonnen. Vorzüglich war es der Stern γ im Kopfe des Drachen, den er mehrere Jahre hindurch mit großer Aufmerksamkeit verfolgte. Er fand bald, daß weder die Länge noch die Breite dieses Sternes unverändert blieb. Im Juni, zur Zeit der Opposition mit der Sonne, war seine Länge stets am größten, im December dagegen, also zur Zeit der Conjunction, war sie am kleinsten; die Differenz der größten und kleinsten Länge betrug 40,5 Secunden; kurz, der Stern beschrieb während eines Jahres am Himmel eine kleine Ellipse, deren große Axe, mit der Ekliptik parallel, 40,5 Secunden betrug.

Eine ganz ähnliche, scheinbare Bewegung fand sich nun bei allen anderen Fixsternen. Für alle war die große Axe der Ellipse mit der Ekliptik parallel, und hat stets die gleiche Größe von 40,5 Secunden; für die Sterne, die in der Nähe des Pols der Ekliptik liegen, ist die fragliche Bewegung fast kreisförmig, während dagegen die kleine Axe der Ellipse um so kleiner, je näher die Sterne der Ekliptik stehen; sie wird endlich Null für die Sterne, die auf der Ekliptik selbst liegen, diese haben also bloß eine in der Ebene der Ekliptik hin- und hergehende Bewegung von 40,5″.

Bradley erkannte richtig als Ursache dieser Erscheinung, die er mit dem Namen der Aberration bezeichnete, das Zusammenwirken der Geschwindigkeiten des Lichts und der Erde. Um die Sache anschaulich zu machen, wollen wir einen Stern betrachten, der ungefähr gleiche Länge mit γ draconis hat, aber auf der Ekliptik selbst liegt, also den Punkt a, Fig. 176 (a. f. S.).

In dieser Figur bezeichnet nämlich der kleine Kreis die Erdbahn, der größere concentrische den Thierkreis, gegen dessen Durchmesser der Durchmesser der Erdbahn freilich verschwindend klein sein sollte. Im Juni wird nun der in a befindliche Stern durch die Aberration um 20″ in der Richtung nach b hin, im December wird er eben so weit in der Richtung nach c hin verrückt erscheinen.

Daraus geht nun zunächst hervor, daß man es hier nicht mit einer Wirkung der Parallaxe zu thun hat. In Folge der Parallaxe nämlich, wenn eine solche merklich wäre, müßte unser Stern im März seine größte, im September seine kleinste, im Juni und December dagegen seine mittlere Länge haben.

Gehen wir nun zur Erklärung der Erscheinung über. Im März bewegt sich die Erde gerade gegen den Punkt a hin, im September entfernt sie sich in gerader Linie von demselben, in dieser Zeit wird man also den Stern an seinem wahren Orte erblicken; im Juni und December dagegen macht die Erdbahn gerade einen rechten Winkel mit den von a zu ihr kommenden Licht-

ſtrahlen. Stellt nun op, Fig. 177, die Geſchwindigkeit der Erde, ro die

Fig. 176.

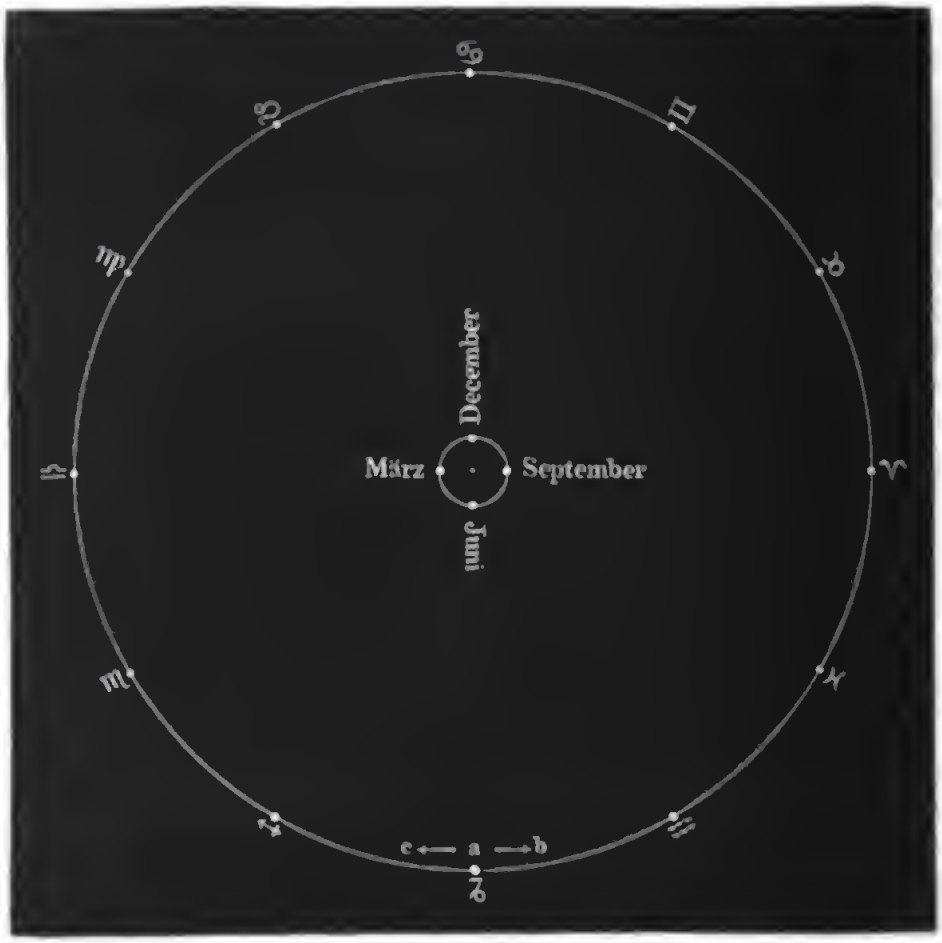
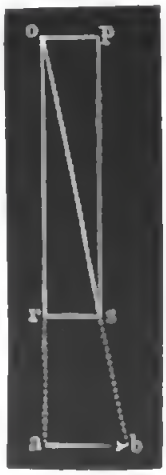


Fig. 177.



Geſchwindigkeit der eben rechtwinklig auf ihre Bahn treffenden Lichtſtrahlen dar, ſo combiniren ſich die beiden Geſchwindigkeiten offenbar in der Weiſe, daß der Eindruck auf das Auge in o derſelbe iſt, als ob bei ruhender Erde die Lichtſtrahlen in der Richtung os gekommen wären, kurz das Auge ſieht den Stern a in b.

Nun iſt der Winkel $ros = 20{,}25''$, op die Geſchwindigkeit der Erde gleich 4,14 Meilen, es iſt alſo

$$ro = \frac{rs}{tang.\ 20{,}25''} = \frac{op}{0{,}0001} = \frac{4{,}14}{0{,}0001},$$

alſo die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Lichtes 41400 Meilen in der Secunde. Die nahe Uebereinſtimmung dieſes Reſultates mit den Werthen, die wir im vorigen Paragraphen für die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Lichtes kennen

lernten, liefert uns einen Beweis für die Richtigkeit des Prinzips, aus welchem die Aberrationserscheinung erklärt worden ist.

Der Winkel von 20,25″, um welchen ein Fixstern nach der Richtung hin verschoben erscheint, in welcher sich gerade die Erde bewegt, wenn die vom Sterne kommenden Strahlen rechtwinklig auf die Erdbahn fallen, heißt der Aberrationswinkel. Der Stern, welcher im Pol der Ekliptik steht, sendet seine Strahlen rechtwinklig auf alle Punkte der Erdbahn, er wird also von seinem wahren Orte stets um 20,25″ verrückt erscheinen, und zwar immer in der Richtung, mit welcher sich gerade die Erde bewegt; dieser Stern muß also am Himmel im Laufe eines Jahres einen kleinen Kreis von 20,25″ Halbmesser um seinen wahren Ort beschreiben.

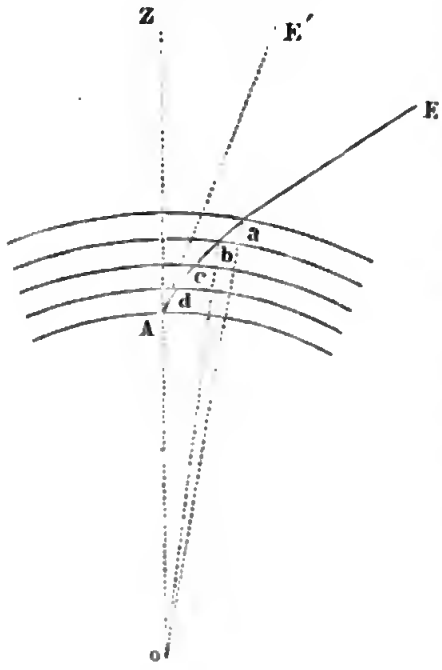
Zweites Capitel.

Erscheinungen, welche durch Brechung und Spiegelung des Lichtes in der Atmosphäre bewirkt werden.

---

115 **Atmosphärische Refraction.** Wenn von irgend einem Gestirne ein Lichtstrahl auf die Atmosphäre unserer Erde trifft, so wird er, den bekannten Brechungsgesetzen zufolge, von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt; diese Ablenkung nimmt aber continuirlich zu, indem der Lichtstrahl allmälig in immer dichtere Luftschichten eindringt, und so kommt es, daß derselbe auf dem Wege durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche eine krumme Linie beschreibt.

Fig. 178.



Um den ganzen Vorgang der atmosphärischen Refraction besser übersehen zu können, wollen wir annehmen, die ganze Atmosphäre sei in eine Reihe concentrischer Schichten getheilt, von denen jede ihrer ganzen Ausdehnung nach eine gleichförmige Dichtigkeit besitzt, aber dichter ist als die nächst höhere und weniger dicht als die nächst tiefere. Trifft nun ein Lichtstrahl Ea, Fig. 178, auf die oberste Schicht der Atmosphäre, so wird er in der Weise abgelenkt, daß er dem Einfallsloth ao genähert wird, er wird die oberste Schicht in der Richtung ab

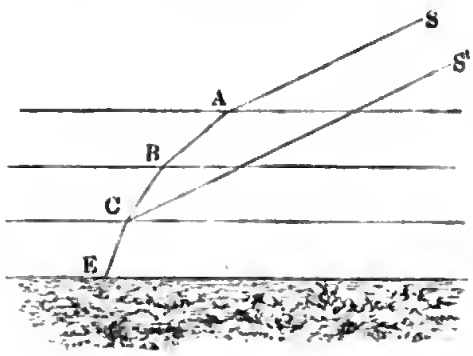
durchlaufen; in b auf eine dichtere Luftſchicht treffend, erleidet der Strahl eine zweite Ablenkung in demſelben Sinne u. ſ. w. und kommt endlich auf der Oberfläche der Erde bei A an, nachdem er die unterſte Schicht der Atmoſphäre in der Richtung dA durchlaufen hat. In der Wirklichkeit iſt aber nun $abcdA$ keine gebrochene Linie, ſondern eine continuirliche Curve. Ein Beobachter, welcher ſich in A befindet, wird offenbar denſelben Eindruck haben, als ob das Geſtirn, von welchem der Lichtſtrahl ausgeht, ſich in der Richtung der in A an die Curve gelegten Tangente AE' befände. Durch den Einfluß der atmoſphäriſchen Refraction erſcheinen alſo alle Geſtirne dem Zenith näher gerückt, ſie ſcheinen höher über dem Horizonte zu ſtehen, als es wirklich der Fall iſt.

Die mit einem Höhenkreiſe gemachten Meſſungen geben uns alſo keineswegs die wahren Werthe der Zenithdiſtanz der Geſtirne, ſondern die durch die atmoſphäriſche Refraction verminderte Zenithdiſtanz; um alſo den wahren Ort eines Geſtirnes am Himmelsgewölbe zu beſtimmen, muß man die Größe der atmoſphäriſchen Refraction kennen und dieſelbe in Rechnung bringen.

Bei der verhältnißmäßig geringen Höhe der Atmoſphäre kann man ohne merklichen Fehler für alle Geſtirne, welche mehr als 15° über dem Horizonte ſtehen, von der Krümmung der Atmoſphäre abſtrahiren und ſie als aus lauter horizontalen Schichten beſtehend betrachten. Mit Hülfe dieſer Annahme läßt ſich nun leicht die Größe der atmoſphäriſchen Refraction berechnen.

Die Phyſik lehrt uns, daß, wenn ein Lichtſtrahl der Reihe nach verſchiedene Schichten durchläuft, deren Gränzflächen ſämmtlich einander parallel ſind, er in der letzten Schicht genau denſelben Weg durchläuft, als ob alle Zwiſchenſchichten fehlten und der Lichtſtrahl in ſeiner urſprünglichen Richtung gleich auf dieſe letzte Schicht gefallen wäre, wie dies Fig. 179 erläutert. Die Richtung, in welcher das Licht eines Sternes unſer Auge trifft, wird alſo dieſelbe ſein, als ob ſeine Strahlen unmittelbar aus dem luftleeren Himmelsraume auf eine Atmoſphäre getroffen wären, deren Dichtigkeit ſo groß iſt wie die Dichtigkeit der Luft, in der wir uns gerade befinden.

Fig. 179.



Beim Uebergang eines Lichtſtrahles aus dem leeren Raume in Luft von 0° und einem Barometerſtand von 760 Millim. iſt der Brechungsexponent 1,000294 (Lehrbuch der Phyſik, 5. Aufl., 1. Band, Seite 461); bezeichnen

wir alſo die wahre Zenithdiſtanz mit z, die durch die atmoſphäriſche Refraction verkleinerte oder die ſcheinbare Zenithdiſtanz mit z', ſo iſt:

$$\sin. z = 1{,}000294 \sin. z'.$$

Der Brechungsexponent der Luft ändert ſich aber mit dem Barometerſtande, der Temperatur u. ſ. w. Für einen Barometerſtand von 760 Millim. und eine Temperatur von 10° C. iſt er 1,00028; für dieſen Werth des Brechungsexponenten der Luft enthält die folgende Tabelle für die ſcheinbaren Zenithdiſtanzen von 5 zu 5 Grad die entſprechenden Werthe der atmoſphäriſchen Refraction, d. h. den Winkel, um welchen die wahre Zenithdiſtanz größer iſt als die ſcheinbare. Außerdem iſt noch die Refraction für 87° und 89° beigefügt worden, um zu zeigen, wie raſch dieſelbe gegen den Horizont hin zunimmt.

Scheinbare Zenithdiſtanz.	Atmoſphäriſche Refraction.	Scheinbare Zenithdiſtanz.	Atmoſphäriſche Refraction.
5°	5,1″	55°	1′ 23,1″
10	10,3	60	1 40,6
15	15,6	65	2 4,3
20	21,2	70	2 38,8
25	27,2	75	3 34,3
30	33,6	80	5 19,8
35	40,8	85	9 54,3
40	48,9	87	14 28,1
45	58,2	89	24 21,2
50	1′ 9,8	90	33 46,3

Da ſich die Größe der atmoſphäriſchen Brechung mit dem Barometerſtande der Temperatur und dem Feuchtigkeitszuſtande der Luft ändert, ſo muß man an den in obiger Tabelle enthaltenen Werthen noch eine den veränderten Umſtänden entſprechende Correction anbringen, auf deren nähere Beſprechung wir aber hier nicht eingehen können.

In Folge der atmoſphäriſchen Refraction ſehen wir auch die Sonne noch vollſtändig über dem Horizonte, wenn der untere Rand derſelben in der That ſchon 33′ unter denſelben hinabgeſunken iſt; durch die Atmoſphäre bleibt uns alſo des Abends die Sonne über zwei Zeitminuten länger ſichtbar, als es ohne die Atmoſphäre der Fall ſein würde, und ebenſo findet der ſcheinbare Sonnenaufgang um mehr als 2 Minuten früher Statt als der wahre. Dies erklärt nun auch, daß man bei einer Mondfinſterniß Sonne und Mond zugleich über dem Horizonte ſehen kann, wie es in der That der Fall iſt, wenn die

Mondfinſterniß zur Zeit des Sonnenaufganges oder des Sonnenunterganges ſtattfindet.

Das Funkeln der Sterne. Gewöhnlich erſcheint uns das Licht der 116
Fixſterne nicht ruhig, ſondern es ſcheint von Zeit zu Zeit, und zwar abwechſelnd mit grüner, blauer oder rother Farbe aufzublitzen. Dieſe beſtändige Veränderung im Lichte der Fixſterne iſt es, welche man Funkeln oder auch Scintillation nennt.

Die mit bloßem Auge ſichtbaren Planeten zeichnen ſich vor den Fixſternen durch ein ſehr ruhiges Licht aus; ſie zeigen das Phänomen des Funkelns entweder gar nicht oder doch weit ſchwächer.

Eine Erklärung dieſes eigenthümlichen Phänomens, welches weſentlich dazu beiträgt, die Schönheit des geſtirnten Himmels zu erhöhen, hat uns Arago gegeben. Für die Bewohner der Erde ſind die Fixſterne nur als leuchtende Punkte zu betrachten. Zwei homogene Lichtſtrahlen, welche gleichzeitig von dem Sterne ausgehend in das Auge des Beobachters gelangen, werden aber, ſo nahe ſie auch einander ſein mögen, bei ihrem Durchgange durch die Atmoſphäre nicht immer gleiche Verzögerungen erleiden, indem die geringſten Differenzen in der Dichtigkeit der durchlaufenen Luftſchichten ſchon einen namhaften Gangunterſchied der beiden Strahlen bewirken können. Weil aber ein beſtändiger Wechſel der Temperatur, des Druckes und der Feuchtigkeit in der Luft ſtattfindet, ſo wird auch die Größe dieſes Gangunterſchiedes fortwährenden Schwankungen unterworfen ſein, und ſo kommt es denn, daß zwei ſolche Strahlen, auf der Netzhaut des Auges vereinigt, ſich entweder gegenſeitig in ihrer Wirkung unterſtützen (wenn der Gangunterſchied Null iſt oder ein gerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt) oder ſich gegenſeitig aufheben (wenn der Gangunterſchied einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge gleich iſt). Auf dieſe Weiſe wird alſo das Licht des Sternes bald ſtärker, bald ſchwächer erſcheinen und dieſer Wechſel kann mit großer Geſchwindigkeit vor ſich gehen.

Wir haben bisher angenommen, daß der Stern nur homogenes, einfarbiges Licht, alſo etwa nur rothes oder nur blaues ausſende. Dies iſt aber in der That nicht der Fall, da das Licht der Fixſterne weiß, alſo aus verſchiedenfarbigen Strahlen zuſammengeſetzt iſt. Da nun die Wellenlänge der verſchiedenfarbigen Strahlen nicht gleich iſt, ſo wird unter ſonſt gleichen Umſtänden der Gangunterſchied der rothen Strahlen ein anderer ſein müſſen, als der der grünen, blauen u. ſ. w. In demſelben Augenblicke, wo die rothen Strahlen ſich faſt aufheben, können alſo die grünen gerade ſo interferiren, daß ſie ſich gegenſeitig verſtärken, und im nächſten Moment wird dann wieder ein Aufblitzen des rothen Lichtes ſtattfinden, während die blauen und grünen Strahlen faſt erloſchen erſcheinen.

Während die Fixſterne, ſelbſt durch die ſtärkſten Fernrohre betrachtet, noch keine merklichen Dimenſionen zeigen, haben die Planeten, durch Fernrohre betrachtet, einen namhaften Durchmeſſer; ein Planet kann demnach als ein Aggregat

einfacher leuchtender Punkte betrachtet werden. Jeder dieſer Punkte für ſich allein wird ſich nun wie ein Fixſtern verhalten, und er würde funkeln wie ein Fixſtern, wenn er iſolirt wäre. Da aber nicht alle leuchtenden Punkte, welche die Scheibe des Planeten bilden, gleichzeitig auf gleiche Weiſe funkeln, ſo wird das Funkeln des einen Punktes im Allgemeinen das des anderen neutraliſiren, und ſo kommt es denn, daß die Planeten ſich durch ein ruhiges Licht auszeichnen.

Man hat bemerkt, daß ſich das Funkeln der Sterne dann beſonders ſtark zeigt, wenn die Luft längere Zeit hindurch trocken war und ſich nun mehr Waſſerdampf in derſelben zu verbreiten beginnt, ſo daß ein auffallend lebhaftes Funkeln der Sterne den Seeleuten als ein Zeichen bald eintretenden Regens gilt.

Zwiſchen den Wendekreiſen, wo die Luft oft eine bewundernswerthe Ruhe und Klarheit zeigt, iſt das Funkeln der Sterne bei Weitem nicht ſo auffallend und lebhaft als in höheren Breiten.

117 **Unvollkommene Durchſichtigkeit der Luft.** Gewiß iſt die atmoſphäriſche Luft ungemein durchſichtig im Vergleich gegen alle uns bekannten feſten und flüſſigen Körper und dennoch iſt ſie, wie uns die alltäglichſten Erſcheinungen lehren, keineswegs vollkommen durchſichtig. Entfernte Gegenſtände erſcheinen uns nicht nur unter kleinerem Geſichtswinkel, ihre Färbung erſcheint matter, die Contraſte zwiſchen Schatten und Licht ſind ſchwächer; kurz, je entfernter ein Gegenſtand iſt, deſto mehr ſcheint er uns mit einem milchigen, blaßblauen Schleier überzogen, wie man namentlich an entfernten Bergen es deutlich ſieht. Man bezeichnet dieſe Wirkung der unvollſtändigen Durchſichtigkeit der Luft mit dem Namen der *Luftperſpective*.

Um ein Maß für die Schwächung des Lichtes durch die Atmoſphäre zu erhalten, conſtruirte *Sauſſure* eine Vorrichtung, welche er *Diaphanometer* nannte. Dieſe Vorrichtung beſteht aus zwei weißen Scheiben, von denen die eine ungefähr 6 Fuß, die andere 6 Zoll im Durchmeſſer hat; in der Mitte der größeren Scheibe iſt ein ſchwarzer Kreis von 24 Zoll, auf der anderen ein ſolcher von 2 Zoll gemalt. Beide Scheiben werden neben einander aufgeſtellt, und zwar ſo, daß ſie nach einer und derſelben Seite gekehrt und vollkommen gleich beleuchtet ſind. Entfernt man ſich nun allmälig, ſo kommt man bald zu einem Punkte, in welchem der kleine ſchwarze Kreis dem Auge verſchwindet, und wenn man ſich dann noch weiter von den Scheiben entfernt, ſo gelangt man endlich auch dahin, daß der größere ſchwarze Kreis auch nicht mehr ſichtbar iſt.

Mißt man nun die Entfernungen der Scheibe von den Punkten, in welchen der kleine und der große Kreis verſchwindet, ſo findet man, daß ſie keineswegs den Durchmeſſern der Kreiſe proportional ſind, wie es ſein müßte, wenn die Luft vollkommen durchſichtig und das Verſchwinden der ſchwarzen Kreiſe nur durch die Kleinheit des Geſichtswinkels bedingt wäre.

Bei einem derartigen Verſuche verſchwand z. B. der kleine Kreis in

einer Entfernung von 314 Fuß, der große aber nicht in zwölffacher Entfernung, ſondern ſchon bei einem Abſtande von 3588 Fuß. Die beiden Abſtände verhalten ſich wie 1 zu 11,427; die kleine ſchwarze Scheibe verſchwand unter einem Geſichtswinkel von 1′ 49″, die große ſchon unter einem Geſichtswinkel von 1′ 55″.

Daß der größere ſchwarze Kreis ſchon verſchwindet, bevor der Sehwinkel auf die Größe herabgeſunken iſt, bei welcher der kleine Kreis aufhört, dem bloßen Auge ſichtbar zu ſein, rührt nur daher, daß bei größerer Entfernung in Folge der durch die Atmoſphäre bewirkten Lichtabſorption der Contraſt der ſchwarzen Scheibe und des weißen Grundes geringer wird.

In größeren Höhen über dem Meeresſpiegel iſt begreiflicher Weiſe die Luft durchſichtiger als in der Tiefe, wie dies auch vergleichende Verſuche darthun, welche H. Schlagintweit in den Alpen anſtellte. An ſehr günſtigen reinen Tagen fand er für den Quotienten der beiden Entfernungen, in welchen die kleine und große Scheibe verſchwinden, den Werth

10,279 in einer Höhe von 2300′ über dem Meere, und
11,957 » » » » 12000′ » » »

Man ſieht, wie ſich dieſer Quotient für größere Höhen ſeinem Gränzwerthe weit mehr nähert, als es für tiefer liegende Orte der Fall iſt.

Die Durchſichtigkeit der Luft iſt aber ſelbſt für einen und denſelben Ort von ſehr veränderlicher Größe. Während man z. B. bei durchſichtiger Luft von den Höhen des Schwarzwaldes aus die ſchneebedeckte Alpenkette in großer Klarheit und mit ſcharfen Umriſſen erblickt, iſt dieſelbe an anderen Tagen oft bei ganz wolkenfreiem Himmel vollkommen unſichtbar.

Im Allgemeinen ſind die ſonnigſten, wolkenfreieſten Tage keineswegs diejenigen, an welchen die Luft beſonders durchſichtig iſt, im Gegentheil hat man bei anhaltend guter Witterung ſelten eine klare Fernſicht; und man kann es faſt ſtets als ein Zeichen bald eintretenden Regens betrachten, wenn ferne Berge ſehr klar erſcheinen. Die Luft erreicht, wenigſtens in unſeren Klimaten, ihre größte Durchſichtigkeit, wenn nach lang anhaltendem Regen oder auch nach einem Gewitter eine raſche Aufheiterung des Himmels erfolgt, die aber dann ſelten von Dauer iſt.

Wodurch dieſe Variationen in der Durchſichtigkeit der Luft bedingt ſind, welche Rolle dabei namentlich der Waſſerdampf ſpielt, iſt noch keineswegs genügend ermittelt.

In den Aequatorialgegenden iſt die Luft bei weitem durchſichtiger als in unſeren Gegenden, ſo daß man dort kleinere Sterne deutlicher mit bloßem Auge unterſcheiden kann, die bei uns ſtets unſichtbar bleiben. So unterſchied Humboldt an der Küſte von Cumana und auf den 12000 Fuß hohen Ebenen der Cordilleren mit unbewaffnetem Auge vollkommen deutlich das Sternchen Alcor (auch das Reiterchen genannt), welches ganz in der Nähe des Sternes Mizar im Schwanze des Großen Bären ſteht, obgleich dieſes Sternbild in Südamerika nicht ſo hoch über dem Horizonte ſteht, wie bei uns, wo

man es nur selten und dann nicht mit großer Bestimmtheit von dem benachbarten Mizar getrennt zu erkennen im Stande ist.

In der Nähe von Quito sah Humboldt mit unbewaffnetem Auge auf eine Entfernung von vier deutschen Meilen einen weißen, sich vor den schwarzen basaltischen Wänden hinbewegenden Punkt, den er durch das Fernrohr als seinen in einen weißen Mantel gehüllten Reisegefährten Bonpland erkannte.

Sehr durchsichtig ist auch die trockene Luft der Binnenländer, selbst in höheren Breiten, so namentlich in Persien, dem Himalaya und in Sibirien.

118 **Grösse der Lichtabsorption in der Atmosphäre.** Aus Versuchen mit dem Sauſſure'schen Diaphanometer kann man annähernd berechnen, wie groß die Gesammtabsorption ist, welche die Strahlen eines Gestirnes bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre erleiden. Ist c, Fig. 180, die

Fig. 180.

Stelle, an welcher das Diaphanometer aufgestellt ist, a die Stelle, an welcher der kleine, b diejenige, an welcher der große schwarze Kreis verschwindet, so müßte cb gleich $12 \,.\, ca$ sein, wenn keine Schwächung des Lichtes in der Atmosphäre stattfände. Bei dem oben angeführten Versuche aber war $cb = 11{,}427\ ac$; wir können daraus schließen, daß wenigstens annähernd $\frac{11{,}427}{12}$ oder 0,9523 des Lichtes, welches, von c ausgehend, bei a passirt, bis nach b gelangt, daß also auf dem Wege von a bis b 0,0477 des bei a passirenden Lichtes absorbirt werden.

Bei dem besprochenen Versuche betrug die Länge des Weges ab 3274 Fuß.

Weiß man aber einmal, wie viel Licht durch eine Luftschicht von bekannter Länge absorbirt wird, so kann man daraus auf die Gesammtabsorption in der ganzen Atmosphäre schließen.

Es sei der Barometerstand des Beobachtungsortes $\frac{28}{n}$ Zoll, so hält der Druck der Atmosphäre einer $\frac{32}{n}$ Fuß hohen Wassersäule das Gleichgewicht, während die Dichtigkeit der Luft am Beobachtungsorte $770 \,.\, n$ mal geringer ist als die des Wassers.

Eine Luftsäule, deren Dichtigkeit durchaus dieselbe wäre, wie am Beobachtungsorte, müßte demnach eine Höhe von $n \,.\, 770 \,.\, \frac{32}{n} = 24600$ Fuß haben, wenn sie denselben Druck ausüben sollte wie die Atmosphäre, welche

auf dem Beobachtungsorte laſtet; es läßt ſich demnach wenigſtens als annähernd richtig annehmen, daß auch die Lichtabſorption, welche die ganze über uns befindliche Luftſchicht auf Strahlen ausübt, die vom Zenith herabkommen, dieſelbe iſt, als ob ſie einen Weg von 24600 Fuß durch Luft von der Art zurückgelegt hätte, wie ſie ſich am Beobachtungsorte befindet.

Wenn nun eine Luftſchicht von der Länge l von der ſie treffenden Lichtmenge $\frac{1}{x}$ durchläßt, ſo wird eine Luftſchicht derſelben Art von der Länge $2l$, $3l$ u. ſ. w. $\left(\frac{1}{x}\right)^2$, $\left(\frac{1}{x}\right)^3$ u. ſ. w. der ſie treffenden Lichtmenge durchlaſſen. Die ganze Atmoſphäre über uns wirkt aber wie $\frac{24600}{l}$ ſolcher Schichten, folglich iſt $s = a\left(\frac{1}{x}\right)^{\frac{24600}{l}}$ die Lichtmenge, welche vom Zenith herab zu uns kommt, wenn a die Lichtmenge iſt, welche an der oberen Gränze der Atmoſphäre in derſelben eintritt,

Bei dem eben angeführten Sauſſure'ſchen Verſuch war

$$\frac{1}{x} = 0{,}9523,$$

$$l = 3274, \text{ alſo } \frac{24600}{l} = 7{,}5,$$

folglich iſt für dieſen Fall:

$$s = a \,.\, 0{,}9523^{7{,}5} = a \,.\, 0{,}693,$$

d. h. die Lichtſtärke eines im Zenith ſtehenden Sternes iſt bei dem Zuſtande der Luft, bei welchem der Verſuch angeſtellt wurde, 0,693 von derjenigen, mit welcher wir ihn ſehen würden, wenn die Luft abſolut durchſichtig wäre, oder wenn wir uns an der oberen Gränze der Atmoſphäre befänden.

Wir ſehen aus dieſer Berechnung, daß ſelbſt bei hellem Himmel an Tagen, wo die Luft ſehr klar iſt, die Lichtabſorption in der Atmoſphäre ſchon ſehr bedeutend iſt; ſie wächſt natürlich, wenn die Luft trüber wird, ſie iſt um ſo bedeutender, je größer der Winkel iſt, welchen die von den Geſtirnen zu uns kommenden Strahlen mit dem Zenith machen. Für einen Stern, deſſen Zenithdiſtanz 60°, 70° u. ſ. w. iſt, iſt die Lichtabſorption in der Atmoſphäre ſchon zweimal, dreimal ſo ſtark, als für einen Stern, welcher im Zenith ſteht.

Die allgemeine Tageshelle. Mag nun die unvollkommene Durch- 119
ſichtigkeit der Atmoſphäre von den Lufttheilchen ſelbſt herrühren, oder durch Waſſerdämpfe, durch Staub oder Rauchtheilchen veranlaßt ſein, ſo iſt klar, daß jedes Partikelchen, welches einen Theil des auf daſſelbe fallenden Lichtes aufhält, Veranlaſſung zu einer Reflexion und Diffuſion von Licht bietet. *Dieſe Reflexion und Diffuſion des Lichtes innerhalb der Atmoſphäre iſt die Urſache der allgemeinen Tageshelle.*

Wäre die Luft vollkommen durchſichtig, ſo könnte ſie nicht das mindeſte Licht reflectiren, das Himmelsgewölbe müßte uns alſo, ſelbſt wenn die Sonne

über dem Horizonte steht, absolut schwarz erscheinen, und wo die Sonne nicht unmittelbar hinscheint, müßte vollkommene Finsterniß herrschen. Die Reflexion des Lichtes in der Atmosphäre ist aber so stark, daß bei Tage das ganze Himmelsgewölbe mehr oder weniger lebhaft erleuchtet erscheint, so daß die Sterne vor diesem gleichmäßig ausgebreiteten Glanze erbleichen; ja selbst durch das Licht des Mondes erscheint das Himmelsgewölbe so stark erhellt, daß zur Zeit des Vollmondes nur noch die helleren Sterne sichtbar bleiben.

Diesem durch die Atmosphäre reflectirten Lichte verdanken wir also die allgemeine Tageshelle, durch welche auch an solchen Orten, welche nicht direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, also im Schatten, in unseren Zimmern eine gleichmäßig verbreitete Helligkeit herrscht. Je größer die Durchsichtigkeit der Luft ist, desto intensiver ist die unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen und desto geringer die allgemeine Tageshelle. Bei reiner Luft ist auf dem Gipfel hoher Gebirge der Contrast in der Helligkeit beschatteter Orte und solcher, welche direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, viel bedeutender, als es unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe der Fall ist.

Die allgemeine Tageshelle ist am größten, wenn der Himmel mit dünnen faserigen Wölkchen überdeckt ist, weit geringer ist sie bei ganz reinem, blauem Himmel.

120 **Die Farbe des Himmels.** Wenn der Himmel nicht durch Wolken oder durch einen Nebelschleier bedeckt ist, so zeigt er bekanntlich eine je nach den Umständen bald hellere, bald dunklere blaue Färbung.

Um für die Intensität dieser blauen Färbung eine wenigstens annähernd genaue Messung zu erhalten, construirte Sauſſure eine Vorrichtung, welche er Cyanometer nannte. Durch Anstreichen mit gutem Berliner-Blau stellte er eine Anzahl von 53 Papieren dar, welche vom reinen Weiß bis zum gesättigten Blau und von diesem durch Zusatz von Tusch bis zum vollkommenen Schwarz eine Reihe gleichförmig fortschreitender Zwischenstufen bildeten. Von diesen Papieren wurden gleichgroße Stücke ausgeschnitten, und diese auf dem Umfang eines Kreises aufgeklebt. Diese 53 Nüancen von Weiß durch Blau zum Schwarz wurden Grade genannt, und die Grade wurden von Weiß anfangend gezählt.

Will man die Farbe an irgend einer Stelle des Himmels bestimmen, so hält man das Cyanometer zwischen das Auge und diese Stelle und sieht, welcher Grad der Färbung des Himmels entspricht. Die Beobachtung muß wo möglich im Freien gemacht werden, damit das Cyanometer hinreichend erleuchtet wird.

Parrot construirte zu dem gleichen Zwecke einen anderen Apparat, den man ein Rotationscyanometer nennen kann; es besteht aus einer weißen und einer schwarzen Scheibe, auf welchen man 1, 2, 3... Sectoren von gesättigter blauer Färbung befestigen kann. Durch rasche Umdrehung wird jede Scheibe ein gleichförmiges Ansehen erhalten. Aus der Anzahl der blauen Sectoren, die man auf die weiße oder die schwarze Scheibe bringen muß, um

eine dem Blau des Himmels gleiche Färbung zu erhalten, kann man auf den Grad derſelben ſchließen.

Dieſe beiden Vorrichtungen ſind in mancher Beziehung unbequem und mangelhaft. Arago machte den Vorſchlag, die blaue Färbung, welche doppeltbrechende Kryſtallblättchen bei beſtimmter Dicke im polariſirten Lichte zeigen, zur Vergleichung mit dem Himmelsblau anzuwenden. Das Blau ſolcher Kryſtallblättchen erreicht nämlich ſeine größte Intenſität, wenn das einfallende Licht vollkommen polariſirt iſt; je unvollſtändiger aber die Polariſation der einfallenden Strahlen iſt, deſto blaſſer und mehr dem Weiß ſich nähernd wird die blaue Färbung des Blättchens. Aber auch die Herſtellung und Ausführung eines auf dieſes Princip gegründeten Cyanometers ſtößt auf mannigfache Schwierigkeiten und es ſcheint bis jetzt wenigſtens das Polariſationscyanometer noch nicht in die Praxis eingetreten zu ſein.

Schon eine oberflächliche Betrachtung des heiteren Himmels zeigt uns, daß die blaue Färbung deſſelben im Zenith am intenſivſten iſt, und daß ſie nach dem Horizont hin mehr und mehr weißlich wird. An einem heiteren Tage fanden Sauſſure in Genf und Humboldt auf dem Atlantiſchen Ocean (16° 19′ nördlicher Breite) für die Bläue des Himmels in verſchiedenen Höhen über dem Horizonte folgende Werthe:

Höhe.	Cyanometergrade	
	Humboldt.	Sauſſure.
1°	3,0°	4,0°
10	6,0	9,0
20	10,0	13,0
30	16,5	15,5
40	18,0	17,5
60	22,0	20,0

Auf den Gipfeln hoher Berge erſcheint der Himmel weit dunkler als in den Ebenen. So fand Sauſſure die Färbung des Zeniths auf dem Col du géant gleich 31° ſeines Cyanometers, während gleichzeitig zu Genf nur 22,5° beobachtet wurden. An einem ſehr ſchönen Tage ſtieg auf dem Col du géant die Farbe des Zeniths auf 37°; auf dem Gipfel des Montblanc wurden ſogar 39° beobachtet.

In wärmeren Ländern iſt die Farbe des Himmels tiefer blau als in ſolchen, welche weiter vom Aequator entfernt liegen; bei gleicher geographiſcher Breite iſt der Himmel der Binnenländer blauer, als auf dem Meere und den Küſtenländern, was leicht begreiflich iſt, wenn man bedenkt, daß das reine Blau des Himmels beſonders durch die in der Luft ſchwebenden condenſirten Waſſerdämpfe, durch feine Nebel gebleicht wird, welche den Himmel mit einem

leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu sein, um Wolken zu bilden.

Während das Blau des Himmels offenbar von dem in der Atmosphäre reflectirten Lichte herrührt, zeigen Lichtstrahlen, welche einen weiten Weg durch die unteren dichteren Schichten des Luftmeeres zurückgelegt haben, eine tief gelbe bis ins Rothe spielende Färbung. Während der Mond, wenn er hoch über dem Horizonte steht, mit einem weißen, ja etwas bläulichen Lichte strahlt, sehen wir dieses Gestirn oft blutroth aufgehen, und ebenso ist die prachtvolle Erscheinung des Morgen- und Abendrothes ein Beweis dafür, daß die Atmosphäre vorzugsweise orangefarbenen und rothen Strahlen den Durchgang gestattet.

121 **Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des Abendrothes.** Viele Physiker, und unter diesen besonders Brandes, suchen die blaue Farbe des Himmels und das Abendroth einfach durch die Annahme zu erklären, daß die Luft vorzugsweise die blauen Strahlen reflectire, dagegen aber die gelben und rothen vollständiger durchlasse als alle anderen.

Nach der Meinung von Forbes rührt aber wenigstens die Erscheinung des Abend- und Morgenrothes nicht sowohl von der Luft selbst, als vielmehr von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfe her.

Eines Tages stand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch sein Sicherheitsventil eine große Menge Dampf entließ; zufällig sah er durch die aufsteigende Dampfsäule nach der Sonne und war überrascht, sie sehr tief orangeroth gefärbt zu sehen. Später beobachtete er noch öfters dasselbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung desselben. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausblies, war dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in größerer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet war, hörte die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mäßiger Dicke war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie warf einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering war, so war sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes scheint also einer besonderen Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgestalt ist der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos, in jenem Uebergangszustande ist er durchsichtig und rauchroth, wenn er aber vollständig zu Nebelbläschen verdichtet ist, so ist er bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei großer Dicke vollkommen undurchsichtig.

Forbes wendet dies zur Erklärung der Abendröthe an. Als reine, farblose, elastische Flüssigkeit giebt der Wasserdampf der Luft ihre größte Durchsichtigkeit, wie man sie besonders beobachtet, wenn sich nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszustande läßt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in diesem Zustande die Erscheinungen der Abendröthe hervor.

Diese Theorie erklärt auch sehr gut, daß das Abendroth weit brillanter ist als das Morgenroth; daß Abendroth und Morgengrau die Anzeigen schö-

nen Wetters ſind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftſchichten in verſchiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor ſich aber in Folge deſſen der Waſſerdampf vollſtändig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszuſtand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens iſt es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Proceſſes wahrſcheinlich das Roth erzeugt haben würden, ſteigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne lange genug angehalten hat; alsdann iſt aber die Zeit des Sonnenaufgangs vorüber, die Sonne ſteht ſchon hoch am Himmel. Das feurige Anſehen des Morgenhimmels rührt von der Anweſenheit eines ſo großen Ueberſchuſſes an Feuchtigkeit her, daß durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entſtehen, im Gegenſatze mit der Tendenz der ſteigenden Sonne, ſie zu zerſtreuen; das Morgenroth iſt deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten.

Clauſius hat die Rolle, welche der Waſſerdampf bei der Färbung des Himmels ſpielt, näher unterſucht (Pogg. Annal. Bd. 76).

Zunächſt beweiſt Clauſius, daß die atmoſphäriſche Reflexion weder von feinen, undurchſichtigen, in der Luft ſchwebenden fremden Partikelchen, noch von maſſiven Waſſerkugeln herrühren könne, ſondern daß dieſelbe von den zarten in der Luft ſchwebenden Waſſerbläschen abzuleiten ſei.

Dieſe Waſſerbläschen verhalten ſich nun ganz wie mikroſkopiſche Seifenbläschen; ſie werden eine von der Dicke der dünnen Waſſerhülle abhängige Farbe reflectiren; bei der geringſten Dicke, bei welcher eine dünne Schicht überhaupt eine Färbung wahrnehmen läßt, zeigt ſie das Blau erſter Ordnung (Phyſik, 5te Aufl. Bd. I., S. 628). Wenn demnach in der Luft nur ſolche Waſſerbläschen ſchweben, deren Hülle die Dicke nicht überſchreitet, welche das Blau erſter Ordnung liefert, ſo müſſen ſie, nach der Anſicht von Clauſius, den Himmel mit dem Blau erſter Ordnung überziehen.

Wenn die Luft feuchter wird, ſo werden die ſchon vorhandenen Bläschen an Dicke zunehmen, zugleich aber bilden ſich von Neuem die feinſten Bläschen, ſo daß dann von einer beſtimmten Gränze der Dicke bis zu den feinſten herab Waſſerbläschen von allen Zwiſchenſtufen gleichzeitig in der Luft ſchweben; es kann deshalb auch der Himmel nicht etwa die Farbe irgend einer dickeren Schicht annehmen, ſondern das Zuſammenwirken aller weiteren Farben, welche die einzelnen Bläschen etwa noch liefern mögen, kann zuſammen nur eine weißliche Farbe hervorbringen, welche das reine Blau des Himmels um ſo mehr bleicht, je mehr dickere Bläschen den feineren beigemiſcht ſind.

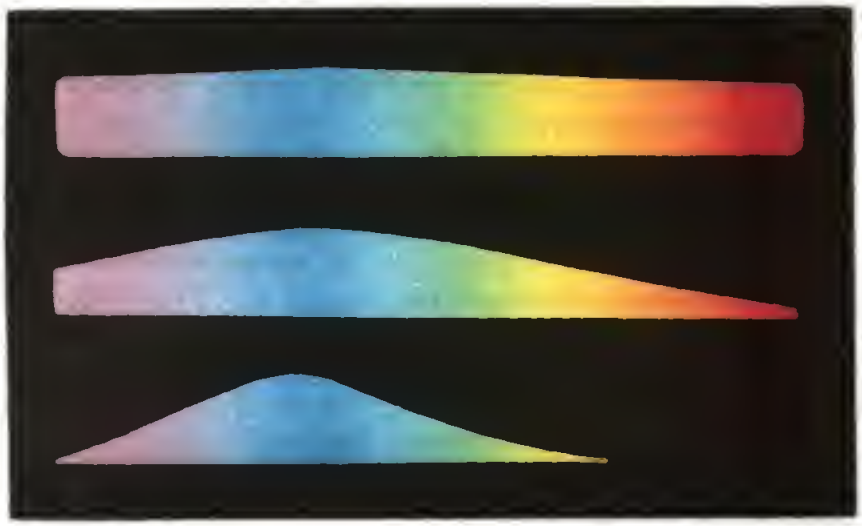
Schon Newton hatte die Anſicht ausgeſprochen, daß das Blau des Himmels das Blau erſter Ordnung ſei, ohne jedoch dieſe Anſicht weiter auszuführen oder zu begründen, wie dies jetzt von Clauſius geſchehen iſt. Wenn man aber mit Aufmerkſamkeit die Farben der Newton'ſchen Ringe betrachtet, ſo wird man geſtehen müſſen, daß in der ganzen erſten Ordnung kein Blau vorkommt, welches ſich auch nur entfernt mit dem prachtvollen Blau des Himmels vergleichen ließe. Das Blau erſter Ordnung iſt ein, nur wenig ins Blaue ſpielendes Weiß; das Schwarz des centralen Fleckes geht durch ein bläuliches

Grau in bläuliches Weiß und dieſes in Gelblichweiß über. Von dieſer Seite alſo ſcheint die Theorie von Clauſius wohl einer Ergänzung zu bedürfen, um mit den vorliegenden Thatſachen in Uebereinſtimmung gebracht zu werden; zu einer ſolchen Uebereinſtimmung glaube ich aber auf folgendem Wege gelangen zu können.

Der oberſte Streifen in Fig. 181 zeigt nach der in meinem Lehrbuche der Phyſik näher erörterten Weiſe, wie das Blau erſter Ordnung zuſammengeſetzt iſt. Während das Blau vollſtändig reflectirt wird, bleibt von dem zum reinen Weiß gehörigen Violett noch 0,96, von dem zum reinen Weiß gehörigen Roth noch 0,83 übrig. Man ſieht nun leicht ein, daß in dem Blau erſter Ordnung von allen Farben des Spectrums noch ſo viel übrig bleibt, daß ein entſchiedenes Vorherrſchen von Blau unmöglich iſt.

Wenn aber das Blau erſter Ordnung, welches von einem erſten Waſſer-

Fig. 181.



bläschen reflectirt wird, auf ein zweites fällt, ſo wiederholt ſich derſelbe Vorgang. Bezeichnen wir die Intenſität des von dem zweiten Waſſerbläschen reflectirten Blau mit 1, ſo iſt die Intenſität des vom zweiten Bläschen reflectirten Violett nur noch $0{,}96^2$ und des vom zweiten Bläschen reflectirten Roth nur noch $0{,}83^2$.

So wird denn bei jeder folgenden Reflexion von einem ſolchen feinen Waſſerbläschen der Antheil aller übrigen Farben, welche das Vorherrſchen des Blau abſchwächen können, mehr und mehr verringert. Bezeichnen wir die Intenſität des Blau nach zehnmaliger Reflexion (d. h. nachdem die Lichtſtrahlen der Reihe nach von zehn Waſſerbläschen reflectirt worden ſind, deren jedes für ſich im weißen Lichte Blau der erſten Ordnung zeigt) mit 1, ſo iſt die Intenſität des Violett nach zehnmaliger Reflexion nur noch $0{,}96^{10} = 0{,}66$ und die des Roth nur noch $0{,}83^{10} = 0{,}15$.

Der mittlere Streifen in Fig. 181 zeigt die Zuſammenſetzung der Farbe, welche von dem urſprünglich weißen Lichte bleibt, nachdem es der Reihe nach von zehn Bläschen reflectirt worden iſt, von welchen jedes für ſich allein im weißen

Lichte das Blau erſter Ordnung zeigt. In gleichem Sinne ſtellt der unterſte Streifen in Fig. 181 das Blau erſter Ordnung nach 100maliger Reflexion dar.

Man ſieht nun leicht, wie durch wiederholte Reflexion des Lichtes auf dünnen Waſſerbläschen, von denen jedes einzelne nur ein ganz blaſſes weißliches Blau liefern würde, eine ſehr intenſive blaue Färbung entſtehen kann, und ſomit dürfte wohl das Blau des Himmels, wenn auch kein einfaches, doch ein gewiſſermaßen potenzirtes Blau erſter Ordnung ſein.

Polariſation des blauen Himmels. Daß das Licht des blauen 122
Himmels polariſirt iſt, hat zuerſt Arago beobachtet. Man kann ſich von dieſer Polariſation leicht überzeugen, wenn man durch ein Nicol'ſches Prisma oder durch eine parallel mit der Axe geſchnittene Turmalinplatte nach irgend einer Stelle des blauen Himmels hinſchaut und dann das Prisma um ſeine Axe oder die Turmalinplatte in ihrer Ebene umdreht; man ſieht auf dieſe Weiſe das Geſichtsfeld abwechſelnd heller oder dunkler werden.

Noch beſſer als mit einem Nicol'ſchen Prisma oder einer Turmalinplatte erkennt man die Polariſation des Himmels durch das bereits auf Seite 254 erwähnte Polariſkop.

Den Polariſationsgeſetzen entſprechend iſt die Schwingungsebene der Strahlen, welche uns irgend eine Stelle des blauen Himmels zuſendet, ſtets rechtwinklig zu der Ebene, welche man ſich durch die betrachtete Stelle des Himmels, das Auge des Beobachters und die Sonne gelegt denken kann. An jeder einzelnen Stelle des Himmels wird ſich alſo die Lage der Schwingungsebene im Laufe des Tages allmälig ändern, je nachdem die Sonne in ihrer täglichen Bewegung fortſchreitet. So wird z. B. für den Nordpol des Himmels die Schwingungsebene Morgens um 6 Uhr vertical ſein, d. h. ſie wird mit dem Meridian des Beobachters zuſammenfallen; je mehr die Sonne ſteigt, deſto mehr neigt ſich die Schwingungsebene den polariſirten Strahlen, welche uns der Nordpol des Himmels zuſendet, und Mittags 12 Uhr iſt die Schwingungsrichtung dieſer Strahlen horizontal. Des Nachmittags ſchreitet die Drehung der Polariſationsebene der vom Nordpol des Himmels kommenden Strahlen in gleicher Richtung fort, ſo daß ſie Abends 6 Uhr wieder vertical ſteht.

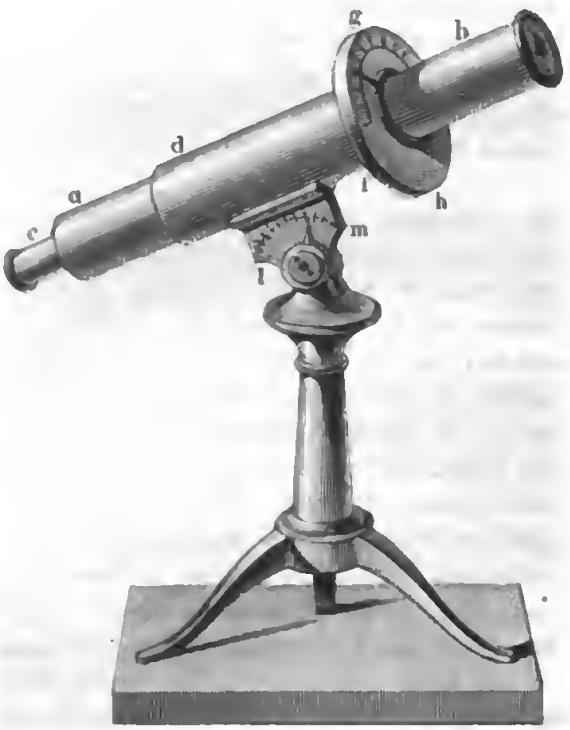
Eine ſehr ſinnreiche Anwendung dieſer Verhältniſſe iſt Wheatſtone's Polaruhr, ein Inſtrument, mittelſt deſſen man aus dem Polariſationszuſtande des Nordpols des Himmels die Zeit bis auf einige Minuten genau ermitteln kann. Der weſentlichſte Theil des Inſtrumentes iſt ein Polariſkop, alſo ein Nicol'ſches Prisma, welches mit einem dünnen Gypsblättchen ſo verbunden iſt, daß die Schwingungsebene des Nicols die Schwingungsebene der beiden Strahlen im Gypsblättchen halbirt. Schaut man durch eine ſolche Combination, das Nicol dicht vor das Auge haltend, nach dem Nordpol des Himmels, ſo wird die Farbe, in welcher das Gypsblättchen erſcheint, ſich ändern, je nachdem man die ganze Vorrichtung um die Axe des Nicols dreht. Bei einer beſtimmten Stellung zeigt das Gypsblättchen ein Maximum von Farbenglanz auf dunklem Grunde.

Dieſe Stellung ändert ſich aber mit der Zeit, auf welche man aus dem Winkel ſchließen kann, welchen die Schwingungsebene des Nicols mit der Horizontalen macht, wenn eben das Gypsblättchen ſo erſcheint, wie es zwiſchen den gekreuzten Spiegeln des Polariſationsapparates der Fall ſein würde.

Man ſieht wohl ein, daß man nach dieſen Andeutungen eine Polaruhr in mancherlei Formen herrichten kann. Eine ziemlich einfache und zweckmäßige Einrichtung der Art dürfte die Fig. 182 in $^1/_3$ der natürlichen Größe abgebildete ſein.

Das Rohr ab, deſſen Länge ungefähr 10 Zoll beträgt, iſt um ſeine Axe innerhalb einer Hülſe df drehbar, welche an ihrem oberen Ende einen getheilten Kreis gh trägt, den wir den Stundenkreis nennen wollen. Am unteren Ende der Röhre ab iſt das Nicol'ſche Prisma c angebracht, während das entgegengeſetzte Ende der Röhre durch zwei Glasplatten verſchloſſen wird, zwiſchen denen ein dünnes Gypsblättchen eingekittet iſt. Die Axen deſſelben müſſen die bereits bezeichnete Stellung zu der Schwingungsebene des Nicols haben.

Fig. 182.



Am einfachſten verwendet man zu dieſem Zwecke ein kleines, durch Spaltung erhaltenes, parallelogrammatiſches Gypsblättchen (Lehrbuch der Phyſik, 5te Aufl. Bd. I, Seite 688), deſſen große Diagonale 1 bis $1^1/_2$ Centimeter beträgt.

An dem Rohre ab iſt ein Ring befeſtigt, welcher einen Zeiger trägt, und welcher auf dem Kreiſe gh aufſitzt. Dieſer Zeiger nimmt alſo an der Drehung der Röhre ab Theil und bewegt ſich dabei über die Theilung des Stundenkreiſes gh hinweg. Die Richtung des Zeigers fällt mit der kleinen Diagonale des Nicols, alſo mit der Schwingungsebene deſſelben zuſammen.

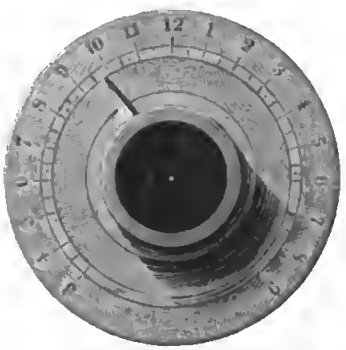
Der Kreis gh iſt in Stunden und Unterabtheilungen derſelben, etwa bis auf Viertelſtunden eingetheilt; denn große Genauigkeit kann man von einer Polaruhr doch nicht erwarten.

Der Deutlichkeit wegen iſt Fig. 183 der Stundenkreis gh mit ſeiner Theilung ſammt der von der Seite des Gypsblättchens her geſehenen Röhre ab

und dem Zeiger unverkürzt und in doppeltem Maßſtabe der Fig. 182 dargeſtellt.

Die beiden Theilſtriche, welche in die durch den Mittelpunkt der Theilung gelegte Horizontale fallen, ſind mit 6 bezeichnet; von demjenigen dieſer beiden Punkte, welcher bei richtiger Aufſtellung des Inſtrumentes auf der Oſtſeite liegt, ſind die Stunden von 6 weiter gezählt bis zum oberſten Theilſtrich der Theilung, welcher mit 12 bezeichnet iſt; auf dem folgenden Quadranten von 12 bis zum weſtlichen 6 ſind dann die Nachmittagsſtunden 1, 2, 3 u. ſ. w. aufgetragen.

Fig. 183.



Da aber die Sonne im Sommer vor 6 Uhr Morgens auf- und erſt nach 6 Uhr Abends untergeht, und da man den Polariſationszuſtand des Nordpols des Himmels ſchon in der Morgen- und Abenddämmerung beobachten kann, ehe noch die Sonne ſelbſt über dem Horizont ſteht, ſo beginnt die Theilung auf der Oſtſeite des Kreiſes auch ſchon um einige Stunden vor 6 Uhr Morgens und iſt bis auf einige Stunden nach 6 Uhr Abends fortgeſetzt.

Die Neigung des Rohres ab gegen die Horizontale läßt ſich beliebig ändern und die Größe dieſer Neigung läßt ſich auf dem Gradbogen lm ableſen.

Das Inſtrument wird nun ſo aufgeſtellt, daß die Verticalebene des Rohres in den Meridian des Beobachtungsortes fällt, und dann das Rohr ſo geneigt, daß der Winkel, welchen es mit der Horizontalen macht, gleich iſt der Polhöhe des Beobachtungsortes; kurz, man ſtellt es ſo auf, daß das Rohr ab gerade gegen den Nordpol des Himmels gerichtet iſt. Nun wird das Rohr ab um ſeine Axe innerhalb der Hülſe df umgedreht, bis das Gypsblättchen ſein Maximum von Farbenglanz auf dunklem Grunde erreicht hat, und dann die entſprechende von dem Zeiger angedeutete Zeit auf dem Stundenkreiſe abgeleſen.

Bei bewölktem Himmel iſt natürlich eine ſolche Polaruhr nicht anwendbar; wenigſtens muß die Gegend um den Nordpol des Himmels wolkenfrei ſein.

Was die Stärke der Polariſation des blauen Himmels anlangt, ſo iſt dieſelbe keineswegs überall gleich; ſie iſt ein Maximum in einem Abſtande von 90° von der Sonne.

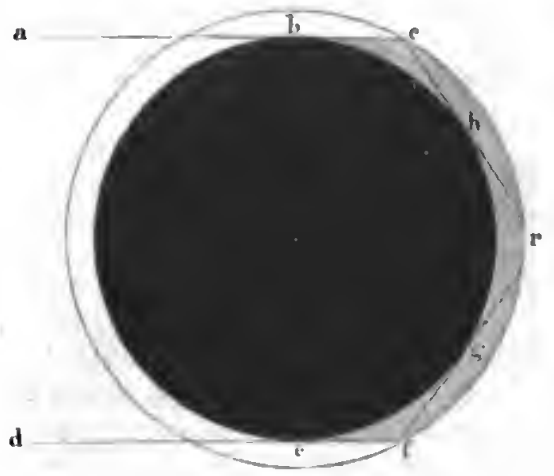
Die Dämmerung. Wenn die Luft abſolut durchſichtig wäre, ſo müßte 123
gleich nach Sonnenuntergang eine vollſtändige Finſterniß eintreten; allein vor Sonnenaufgang ſowohl als auch nach Sonnenuntergang wird über die Erdoberfläche eine namhafte Zeit hindurch eine ziemliche Helligkeit verbreitet, welche lediglich von einer Reflexion und Diffuſion des Lichtes in der Atmoſphäre herrührt.

Man rechnet gewöhnlich die Dauer der Abenddämmerung von Sonnenuntergang bis zu der Zeit, zu welcher man aus Mangel an Helligkeit die Arbeiten im Freien einſtellen muß, oder bis zu dem Zeitpunkte, in welchem man in

einem ziemlich freiliegenden Hauſe die Kerzen anzuzünden pflegt. Es iſt dies der Fall, wenn die Sonne ungefähr bis zu 6° unter den Horizont hinabgeſunken iſt. Die aſtronomiſche Dämmerung dauert aber länger als die eben definirte bürgerliche; ſie dauert nämlich bis zu der Zeit, in welcher der letzte Schein der Helligkeit am weſtlichen Himmel verſchwindet, und dies iſt ſo ziemlich der Fall, wenn die Sonne bis zu 18° unter den Horizont hinabgeſunken iſt.

Fig. 184 ſtelle einen centralen Durchſchnitt der Erde und ihrer Atmoſphäre dar; *ac* und *df* ſeien Sonnenſtrahlen, welche den feſten Erdkern in zwei diametral einander gegenüberſtehenden Punkten berühren, ſo iſt kar, daß *bcrfe* derjenige Theil der Atmoſphäre iſt, welcher nicht von den Sonnenſtrahlen getroffen wird. Denken wir uns von den äußerſten noch von der Sonne erleuchteten Punkten *c* und *f* der Atmoſphäre die Tangenten *ch* und *fg* an die Erdkugel gezogen, ſo ſind *g* und *h* diejenigen Punkte, bis zu welchen ſich die aſtronomiſche Dämmerung erſtreckt; denn für alle Punkte der Erdoberfläche zwiſchen *b* und *h* ſowohl, wie zwiſchen *e* und *g*, befindet ſich noch ein Theil der von den Sonnenſtrahlen erleuchteten Atmoſphäre über dem Horizont. In unſrer Figur iſt nun die Atmoſphäre im Verhältniß zum Durchmeſſer der Erde viel zu hoch angenommen worden, und deshalb iſt nun auch der Dämmerungsbogen *bh* in der Zeichnung viel größer ausgefallen, als er in der Wirklichkeit iſt; denn in der That beträgt, wie wir oben geſehen haben, die Größe dieſes Bogens nur ungefähr 18°.

Fig. 184.



Die Gränze zwiſchen dem noch durch Sonnenſtrahlen direct erleuchteten und dem im Schatten befindlichen Theile der Atmoſphäre iſt natürlich eben ſo wenig genau beſtimmbar, wie die obere Gränze der Atmoſphäre überhaupt; doch läßt ſich aus dem mittleren Werthe des Dämmerungsbogens wenigſtens annähernd die Höhe der Atmoſphäre beſtimmen; aus einem Dämmerungsbogen von 18° ergiebt ſich nämlich für die Atmoſphäre eine Höhe von ungefähr 9 geographiſchen Meilen; über dieſe Höhe hinaus iſt wenigſtens die Atmoſphäre ſchon in einem ſolchen Grade verdünnt, daß ſie keine merkliche Reflexion des Lichtes mehr bewirken kann.

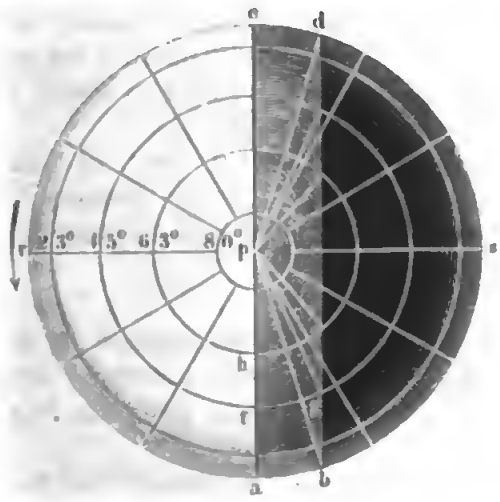
Die Dauer der Dämmerung iſt für verſchiedene Gegenden der Erde ſehr ungleich; unter dem Aequator iſt ſie am kürzeſten, ſie wird um ſo länger, je mehr man ſich den Polen nähert.

Die Fig. 185 dient, um dieſe Verhältniſſe anſchaulicher zu machen; ſie

ſtellt nämlich die Erdkugel in ihren Beleuchtungsverhältniſſen zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche dar.

Der Kreis $csar$ iſt der Erdäquator, welcher mit der Ebene des Papiers zuſammenfällt; p iſt der Nordpol der Erde; die Erdaxe iſt zum Punkte verkürzt.

Fig. 185.



Die in unſerer Figur gezogenen concentriſchen Kreiſe ſtellen die Parallelkreiſe von 23°, 45°, 63° und 80° nördlicher Breite dar. Der zur Linie verkürzte größte Kreis cpa iſt derjenige, welcher die direct erleuchtete von der beſchatteten Erdhälfte trennt (wobei der Einfluß der atmoſphäriſchen Refraction unberückſichtigt geblieben iſt). Macht man den Bogen cd gleich 18°, zieht man db parallel mit ca, ſo iſt der zur Linie verkürzte Kreis db derjenige, bis zu welchem ſich die aſtronomiſche Dämmerung erſtreckt; $cdba$ iſt der Dämmerungsgürtel.

Ein jeder Punkt der Erdoberfläche geht nun in Folge der Axendrehung der Erde in 24 Stunden zweimal durch dieſen Dämmerungsgürtel hindurch, und es iſt leicht einzuſehen, daß die Dauer des Verweilens in demſelben von der geographiſchen Breite des Ortes abhängig iſt.

Für einen Punkt des Erdäquators dauert die aſtronomiſche Dämmerung ſo lange, als er braucht, den Bogen ab zu durchlaufen. Dieſer Bogen beträgt aber 18°; folglich iſt die entſprechende Zeitdauer 72′ oder 1 Stunde 12 Minuten.

Für einen Ort, welcher auf dem 45. Breitengrade liegt, dauert die aſtronomiſche Dämmerung ſo lange, als er braucht, um den Bogen fg zu durchlaufen, alſo nahezu 2 Stunden, da der Winkel fpg gleich 30° iſt.

Auf dieſelbe Weiſe ergiebt ſich, daß für den 63. Breitengrad die Dauer der aſtronomiſchen Dämmerung ungefähr 3 Stunden beträgt.

Ein Ort auf dem 80. Breitengrade gelangt gar nicht mehr bis an die Nachtgränze des Dämmerungsgürtels; zur Zeit des Aequinoctiums beträgt alſo für ihn die Dauer der Dämmerung volle 12 Stunden.

Die Dauer der bürgerlichen Dämmerung beträgt ungefähr $^1/_3$ von der der aſtronomiſchen; die bürgerliche Dämmerung betrüge demnach zur Zeit des Aequinoctiums:

auf dem Aequator etwas über $^1/_3$ Stunde,
auf dem 45. Breitengrade ungefähr $^2/_3$ Stunde,
auf dem 63. Breitengrade ungefähr 1 Stunde,
auf dem 72. Breitengrade ungefähr 2 Stunden.

Der Unterſchied in der Dämmerungsdauer für verſchiedene Breiten iſt aber in der That noch größer, als er ſich aus den eben durchgeführten Betrachtungen ergiebt, weil das Ende der Dämmerung nicht allein durch die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte, ſondern auch durch den Zuſtand der Atmoſphäre bedingt iſt. Je durchſichtiger und reiner die Luft, deſto kürzer iſt die Dämmerung, während ſie durch zarte in der Höhe ſchwebende Nebel verlängert wird. So iſt denn für einen und denſelben Ort die Dauer der Dämmerung ſehr veränderlich. Diejenigen Gegenden, welche ſich eines tief blauen Himmels erfreuen, werden eine verhältnißmäßig kurze Dämmerung haben. In Chili dauert die Dämmerung nur $^1/_4$ Stunde, zu Cumana iſt ſie noch kürzer.

Wir haben oben die Dämmerungsverhältniſſe für die Zeit der Aequinoctien betrachtet; im Sommer ſowohl als im Winter wird, wie ſich durch eine einfache geometriſche Betrachtung nachweiſen läßt, die Dämmerungsdauer für alle Breiten etwas größer.

Luftſpiegelung. Wenn man entfernte Gegenſtände betrachtet, ſo ſieht man bisweilen noch gerade, ſchiefe oder umgekehrte Bilder derſelben. Dieſe Bilder, welche ohne ſichtbaren Spiegel hervorgebracht werden, nennt man Luftbilder.

Wir wollen uns zunächſt mit dieſer Erſcheinung beſchäftigen, wie ſie in den Ebenen von Aegypten beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher ſich zur Zeit der Ueberſchwemmung die Gewäſſer des Nils verbreiten. An den Ufern des Fluſſes und bis auf eine große Entfernung gegen die Wüſte hin ſieht man kleine Erhöhungen, auf welchen ſich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich iſt die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erſcheinen alle entfernten Gegenſtände ſcharf und deutlich; ſobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenſtrahlen erhitzt wird und die unteren Luftſchichten an dieſer hohen Temperatur Theil nehmen, ſo entſteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge ſehr merklich iſt und welche auch in unſeren Gegenden an heißen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun kein Wind geht und die Luftſchichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während ſie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, ſo entwickelt ſich das Phänomen der Luftſpiegelung in ſeiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne ſchaut, ſieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenſtände; unterhalb derſelben ſieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden ſehen zu können, auf welchem ſie ſich erheben; alle dieſe Gegenſtände erſcheinen ihm alſo, als ob ſie ſich mitten in einem ungeheuren See befänden. Dieſe Erſcheinung wurde während der franzöſiſchen Expedition in Aegypten oft beobachtet, ſie war für die Soldaten ein ganz neues Schauſpiel und eine grauſame Täuſchung. Wenn ſie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuſer und Palmbäume ſahen, ſo konnten ſie nicht zweifeln, daß alle dieſe Bilder durch die Oberfläche eines Sees geſpiegelt ſeien. Ermüdet durch forcirte Märſche, durch die Sonnenhitze und eine

mit Sand beladene Luft, liefen ſie dem Ufer zu, aber dieſes Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Anſehen von Waſſer hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen Gegenſtände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuſcht; aber die Täuſchung war von kurzer Dauer.

In dem engliſchen Reiſewerke: „Scenes in Ethiopia drawn and described by J. M. Bernatz, London 1852“, finden ſich ausgezeichnete bildliche Darſtellungen dieſes merkwürdigen Phänomens, welches auch im ſüdlichen Theil von Abyſſinien häufig geſehen wird. Tab. XV iſt die Copie eines ſolchen Luftſpiegels, welchen Bernatz im Thal Dullul beobachtete. Das ganze 3 bis 4 engliſche Meilen breite und 18 Meilen lange Thal erſchien wie mit einem herrlichen See bedeckt, aus deſſen Mitte eine Felſeninſel hervorragte.

Karavanen, welche durch das Thal dahinziehen, ſind durch den Luftſpiegel ganz unſichtbar, und wenn ſie ſich dem Rande des ſcheinbaren Sees nähern, ſieht es aus, als ob ſie förmlich im Waſſer wateten, indem der obere Theil der Körper der Thiere und Menſchen über den Spiegel auftaucht, während der untere Theil noch unſichtbar bleibt.

Der Luftſpiegel verſchwand, wie Bernatz berichtet, wenn ein Wolkenſchatten über denſelben hinzog, und das ganze Thal ſammt allen daſſelbe umgebenden Bergen erſchienen alsdann in ihrem natürlichen Zuſtande; ſobald er aber vorüber war und die Sonne wieder ſchien, zeigte ſich die Luftſpiegelung wieder in voller Klarheit.

Bernatz machte ferner die intereſſante Beobachtung, daß der Luftſpiegel ſteigt, wenn der Beobachter auf den Bergen, welche das Thal einſchließen, hinaufſteigend ſich mehr und mehr über die Thalſohle erhebt, ſo daß endlich der ganze Felſen, welchen wir in der Mitte unſeres Bildes ſehen, vollkommen unter den Luftſpiegel untertaucht und für das Auge verſchwindet.

Folgendes iſt die Erklärung, welche Monge von dieſen Luftbildern gegeben und in den „Mémoires de l'Institut d'Egypte“ bekannt gemacht hat:

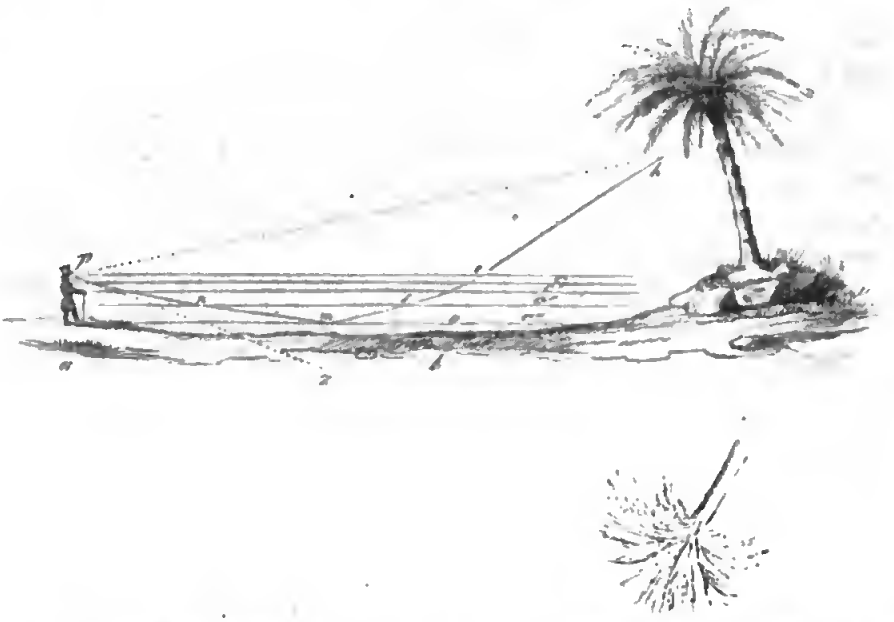
Bei ſtarker Sonnenhitze und ruhiger Luft iſt es möglich, daß die unteren Luftſchichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit beſitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufſteigen. Dies vorausgeſetzt, ſei ab, Fig. 186, der horizontale Boden, h irgend ein erhabener Punkt. Wir wollen nun unterſuchen, auf welche Weiſe das Licht von h in das Auge des in p befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächſt iſt klar, daß das Auge ein directes Bild des Punktes h in der Richtung ph ſieht; die Strahlen werden zwar nicht in einer abſolut geraden Linie von h nach p gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, ſie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchſtens einige Unregelmäßigkeit in den Contouren des directen Bildes entſtehen kann.

Unter den Strahlen, welche der Punkt h nach allen Richtungen ausſendet, ſind aber auch ſolche, welche den Weg $hilmnp$ verfolgen und welche alſo in der Richtung pz ins Auge gelangend ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes

geben. In der That wird der Strahl hi, wenn er auf die weniger dichte Luftschicht c trifft, ſo gebrochen werden, daß er ſich vom Einfallslothe entfernt; ebenſo wird er ſich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er auf die nächſte, abermals weniger dichte Luftſchicht trifft u. ſ. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer ſchräger, bis ſie endlich aus der Schicht, in welcher ſie ſich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; ſie werden reflectirt und gelangen in der Richtung mnp in das Auge.

In unſerer Figur iſt der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie gezeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftſchichten nach dem Boden hin

Fig. 186.



allmälig abnimmt, ſo werden auch die Strahlen allmälig abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Der folgende Verſuch mag dienen, dieſe Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine ſchwache Nachahmung der Luftſpiegelung iſt. Es ſei cc', Fig. 187,

Fig. 187.

ein Kaſten von Eiſenblech, ungefähr 1 Meter lang, 14 bis 18 Centimeter hoch und breit; er wird mit glühenden Kohlen gefüllt und ungefähr in die Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun oben über den Kaſten hinſieht, ſo erblickt man in der Richtung pm das directe, in der Richtung pm' aber das verkehrte Bild eines entfernten Viſirpunktes m. An den Seitenwänden des Kaſtens kann man dieſelbe Erſcheinung beobachten.

Wollaſton hat noch einen anderen Verſuch ausgeſonnen, um ſolche Bilder in Flüſſigkeiten hervorzubringen. Man gieße in ein rundes oder viereckiges Gefäß von Kryſtallglas zwei paſſende Flüſſigkeiten über einander, welche ungleiche Dichtigkeit haben und welche ſich an der Gränzfläche allmälig mit einander verbinden, wie Waſſer und Schwefelſäure, Waſſer und Weingeiſt, Waſſer und Zuckerſyrup u. ſ. w.; ſieht man über die Gränzfläche hinweg, etwa nach einer auf die Außenſeite des Glaſes gemalten Schrift, ſo ſieht man von derſelben ein aufrechtes und ein verkehrtes Bild.

Auch an anderen Orten und unter anderen Umſtänden werden oft Luftbilder beobachtet. So beobachtete z. B. Vince in Ramsgate eine merkwürdige Wirkung von Luftſpiegelung. Wenn man von Ramsgate nach der Küſte von Dover hinſieht, ſo erblickt man bei ſchönem Wetter die Spitzen der vier höchſten Thürme des Schloſſes zu Dover. Der Reſt des Gebäudes iſt hinter einem Bergrücken verborgen, welcher ungefähr 12 engliſche Meilen weit vom Beobachter entfernt iſt. Am 6. Auguſt 1806, Abends gegen 7 Uhr, war Vince ſehr erſtaunt, nicht allein die vier Thürme, ſondern das ganze Schloß bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmoſphäriſchen Refraction. Wegen der ſehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Luftſtrahlen in krummer Linie ins Auge gelangt.

Derſelbe Phyſiker hat noch ähnliche Erſcheinungen beobachtet, indem er mit einem guten Teleſkope die ſich nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; ſo ſah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich unterſcheiden. Zu gleicher Zeit ſah er aber auch gerade über demſelben ein ganz regelmäßiges, umgekehrtes Bild deſſelben, ſo daß die Spitzen der Maſten des directen und des verkehrten Bildes zuſammenſtießen, wie dies Fig. 188 dargeſtellt iſt. Ein anderes Mal ſah er von einem Schiffe, deſſen

Fig. 188.

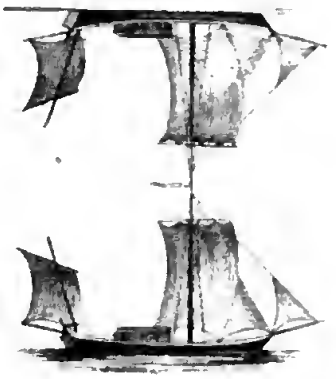
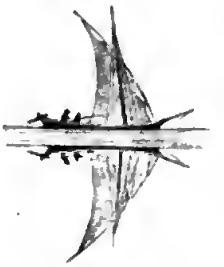


Fig. 189.



Maſten erſt über dem Horizonte waren, zwei vollſtändige Bilder, Fig. 189, ein aufrechtes und ein verkehrtes.

Solche Erſcheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftſpiegelung, welche auf dem Meere öfter beobachtet werden, ſind unter dem Namen der Erhebung oder des Seegeſichtes bekannt. Scoresby hatte in den grönländiſchen

Meeren häufig Gelegenheit, sie wahrzunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in verticaler Richtung verlängert oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes, von Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle diese Erscheinungen rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche Erscheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollständige Erklärung derselben gegeben. Er hat gezeigt, daß unter gewissen Umständen von einem Punkte *t*, Fig. 190, aus, welcher sich in einiger Entfernung von dem Beobachter befindet, man sich eine Linie *tcb* gezogen denken kann, so daß alle Gegenstände, welche

Fig. 190.

sich unter derselben befinden, unsichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich bis zu einer gewissen Höhe über derselben befinden, zwei Bilder sieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieser Linie. Ein Mensch also, welcher sich allmälig von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verschiedenen in Fig. 190 dargestellten Erscheinungen geben.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenstande selbst. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine auf dem Genfersee ein Luftbild, welches seitwärts vom Gegenstande lag; sie befanden sich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hause und sahen mit dem Fernrohre in der Richtung *gp*, Fig. 191, nach einem Schiffe, welches sich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle-Rive gegenüber befand und nach Genf segelte. Während das Schiff allmälig nach *q*, *r* und *s* kam, sahen sie ein deutliches Bild zur Seite in *q'*, *r'*, *s'*, welches sich wie das Schiff selber näherte, während die Entfernung des Schiffes und seines Bildes größer wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild so hell, daß man es mit bloßen Augen sehen konnte.

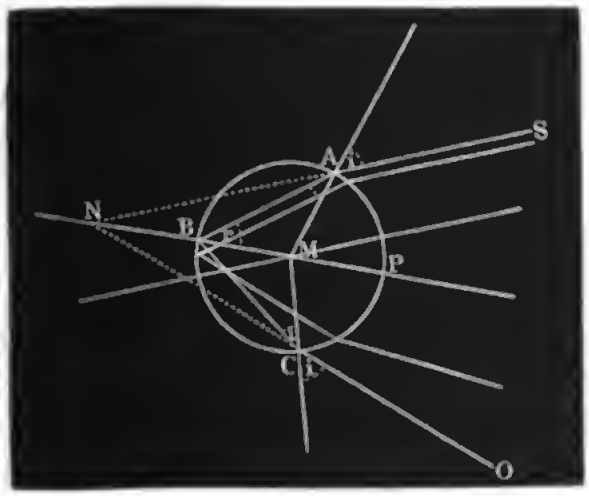
Fig. 191.

Dieſe Erſcheinung erklärt ſich dadurch, daß die Luft über dem See am öſtlichen Ufer abc des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während ſie weiter links ſchon durch die Sonne erwärmt wurde; ſo konnte die Trennungsfläche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Waſſer vertical ſein.

Dieſe Beiſpiele mögen hinreichen, um eine Idee von den mannigfaltigen und oft bizarren Erſcheinungen zu geben, welche durch die außergewöhnliche Brechung des Lichts in aneinander gränzenden Luftſchichten von ſehr verſchiedener Dichtigkeit hervorgebracht werden. Wir haben bisher angenommen, daß dieſe Luftſchichten in ebenen Flächen aneinander gränzen; wenn dies aber nicht der Fall iſt, wenn die Gränzflächen gekrümmt und unregelmäßig ſind, ſo erſcheinen die Bilder verzerrt. Es iſt nicht zu bezweifeln, daß die unter dem Namen Fata Morgana bekannten Erſcheinungen eine Wirkung der Luftſpiegelung ſind. Sie werden zu Neapel, zu Reggio und an den Küſten von Sicilien beobachtet. Auf einmal ſieht man in großer Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlöſſer, Paläſte, kurz eine Menge von Gegenſtänden, deren Anblick ſich fortwährend ändert. Das Volk ſtrömt dann dem Ufer zu, um dieſes ſonderbare Schauſpiel anzuſehen. Dieſe feenhafte Erſcheinung beruht darin, daß Gegenſtände ſichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zuſtande der Atmoſphäre nicht ſehen kann und welche zerriſſen, verzerrt und in fortwährender Bewegung zu ſein ſcheinen, weil die ungleich dichten Luftſchichten in ſteter Bewegung ſind.

Der Regenbogen. Es iſt allgemein bekannt, daß man einen Regen- 125
bogen ſieht, wenn man eine regnende Wolke vor ſich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichſam die Baſis eines Kegels, in deſſen Spitze das Auge ſteht und deſſen Axe mit der geraden Linie zuſammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erſcheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Waſſerfälle und Springbrunnen.

Fig. 192.

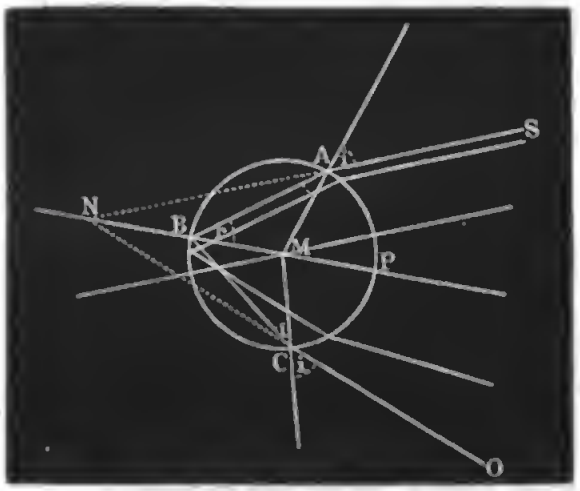


Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenſtrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenſtrahl SA, Fig. 192, einen Regentropfen trifft, ſo wird er gebrochen, und es iſt leicht, die Richtung des gebrochenen Strahls AB zu berechnen oder zu conſtruiren. Bezeichnet man den

Einfallswinkel mit i, den Brechungswinkel mit r, so ist $\sin. i = 1{,}33 \sin. r$, weil 1,33 der Brechungsexponent für Waſſer iſt. In B wird der Strahl theils gebrochen, theils geſpiegelt; der geſpiegelte Strahl trifft in C von Neuem die Oberfläche des Tropfens und wird nach der Richtung CO gebrochen. Verlängert man die Linien SA und OC, ſo ſchneiden ſie ſich in N. Der Winkel ANC, den wir mit d bezeichnen wollen, iſt der Winkel, welchen der austretende Sonnenſtrahl mit dem einfallenden macht, und die Größe dieſes Winkels ſoll zunächſt beſtimmt werden. Ziehen wir in dem Punkte B, in welchem der Strahl geſpiegelt wird, das Einfallsloth BN, ſo iſt der Winkel $BNA = \frac{1}{2}d$. Der Winkel PMA iſt, wie leicht einzuſehen, $= 2r$ (als Außenwinkel des Dreiecks MBA), und da $2r$ auch ein Außenwinkel des Dreiecks MAN iſt, ſo haben wir

Fig. 192.



$$\frac{1}{2}d = 2r - i;$$

denn der Winkel MAN iſt gleich i. Daraus folgt aber

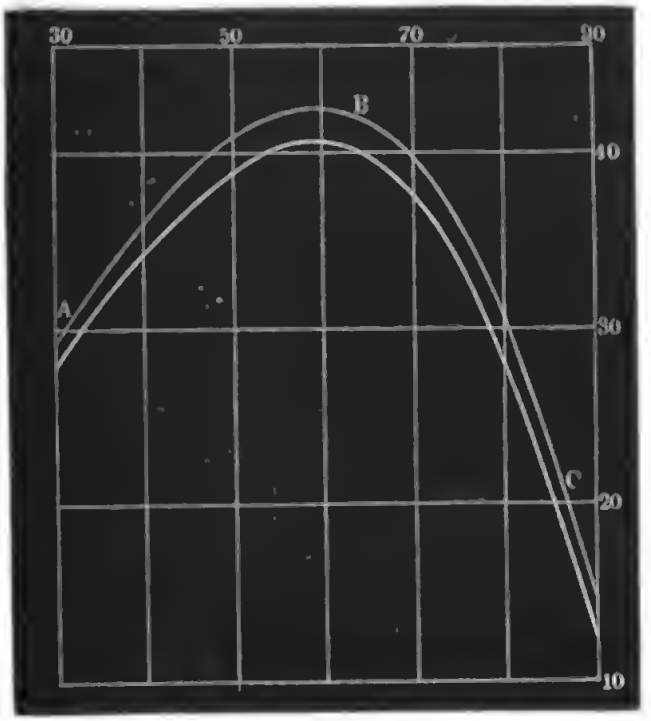
$$d = 4r - 2i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1).$$

Dieſer Werth von d zeigt, daß der Winkel der eintretenden und austretenden Sonnenſtrahlen mit der Größe des Einfallswinkels ſich ändert; denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem alſo die unter ſich parallel eintretenden Sonnenſtrahlen in verſchiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden ſie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verſchiedene Ablenkungen. Der einfallende Strahl, deſſen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für dieſen Strahl iſt $i = 0$; wenn aber $i = 0$, ſo ſind auch r und d gleich Null. Je mehr nun der Einfallspunkt nach A hinrückt, deſto größer wird i, und die ſtetige Veränderung von i hat auch eine ſtetige Veränderung von d zur Folge. Es iſt leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d nach Gleichung 1) zu berechnen, wie es in folgender Tabelle für einige Werthe von i geſchehen iſt. Es iſt hierbei 1,33 als Brechungsexponent beim Uebergang der Lichtſtrahlen aus Luft in Waſſer angenommen.

i	r	d
10°	7° 30′	10°
20	14 54	19 36′
30	22 5	28 20
40	28 54	35 36
50	35 10	40 40
60	40 37	42 28
70	44 57	39 48
80	47 46	31 4
90	48 45	15.

Nach dieſer Tabelle iſt die obere Curve, Fig. 193, conſtruirt, welche das Verhältniß anſchaulich macht, in welchem der Einfallswinkel i zur Ablenkung d

Fig. 193.



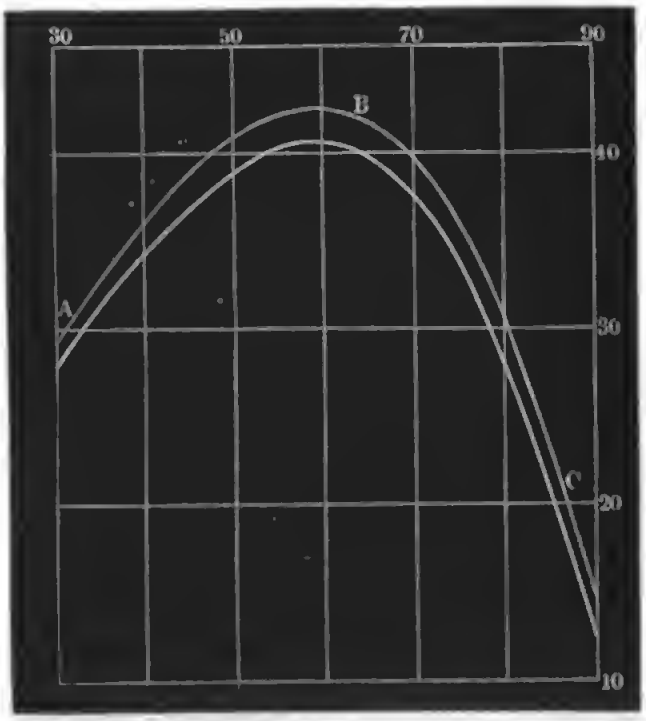
ſteht. Die verſchiedenen Werthe von i ſind als Abſciſſen, die zugehörigen Werthe von d als Ordinaten aufgetragen. Man erſieht aus dieſer Figur ſehr deutlich, wie mit zunehmendem Werthe von i auch die Ablenkung wächſt, bis ſie ein Maximum erreicht, wenn i gegen 58 bis 59° iſt. Wächſt i noch mehr, ſo nimmt die Ablenkung wieder ab.

Aus dem eben Geſagten folgt nun unmittelbar, daß die parallel auf den Tropfen fallenden Sonnenſtrahlen, die wir bisher betrachtet haben, nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es iſt begreiflich, daß durch dieſe Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichtein-

drucks, den ſie hervorbringen, ganz außerordentlich geſchwächt wird, namentlich, wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge ſich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche dieſe Divergenz ein Minimum iſt, oder, mit anderen Worten, nur diejenigen, welche ſehr nahe parallel austreten.

Suchen wir nun in der Curve ABC, Fig. 193, diejenige Stelle, wo bei gleichmäßiger Veränderung der Abſciſſen i die Ablenkung ſich verhältnißmäßig

Fig. 193.



am wenigſten ändert, ſo finden wir, daß dies der Fall iſt, wenn die Ablenkung ein Maximum iſt; denn an dieſer Stelle iſt die Curve faſt horizontal. Für alle Einfallswinkel i, welche ſelbſt einige Grade größer und kleiner ſind als 59°, iſt die Ablenkung faſt ganz dieſelbe, ſie beträgt ſehr nahe 42° 30′; eine ziemliche Menge parallel einfallender Sonnenſtrahlen verläßt alſo den Tropfen faſt in derſelben Richtung, nachdem ſie eine Ablenkung von ſehr nahe 42° 30′ erlitten haben; und dieſe Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Man denke ſich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie OP, Fig. 194, gezogen, und durch dieſelbe eine Verticalebene gelegt. Man ziehe ferner durch O eine Linie OV, ſo daß der Winkel $POV = 42° 30''$ ſo werden nach dieſer Richtung hin ſich befindende Regentropfen nach einmaliger

innerer Spiegelung wirkſame Strahlen ins Auge ſenden. Jedoch nicht allein in dieſer Richtung empfängt das Auge wirkſame Strahlen, ſondern, wie leicht

Fig. 194.

begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, die durch Umdrehung der Linie OV um die Axe OP entſteht; das Auge wird alſo einen lichten Kreis ſehen, deſſen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und deſſen Halbmeſſer unter einem Winkel von 42° 30′ erſcheint.

Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es iſt dies aber der Brechungsexponent der rothen Strahlen, das Auge ſieht alſo in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als ein rother Ring von 30′ Breite erſcheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, ſondern eine Scheibe iſt, die den ſcheinbaren Durchmeſſer 30′ hat. Für violette Strahlen iſt der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von i und d:

i	d	i	d
0	0	50°	39°
10°	9° 40′	60	40 28′
20	18 57	70	37 28
30	27 22	80	28 28
40	34 20	90	12 18

Nach dieſen Zahlen iſt die unterſte Curve, Fig. 193, conſtruirt. Das Maximum der Ablenkung, welche die violetten Strahlen nach einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, iſt demnach nahe 40° 30′; dies iſt alſo die Richtung, in welcher die wirkſamen violetten Strahlen austreten. Es wird alſo concentriſch mit dem rothen ein violetter Kreisbogen von geringerem Halbmeſſer ſichtbar ſein, welcher gleichfalls eine Breite von 30′ hat. Zwiſchen dieſen äußerſten Bogen erſcheinen die der übrigen prismatiſchen Farben, und ſo bildet alſo gewiſſermaßen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr

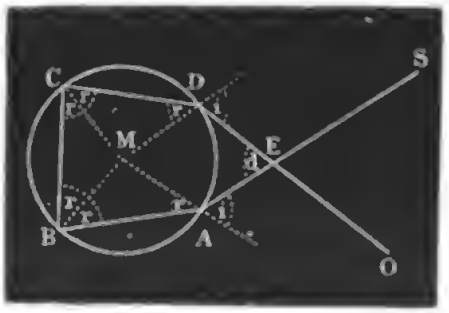
2°, da ja der Halbmeſſer des rothen Bogens um 2° größer iſt als der des violetten.

Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, ſo hängt ſie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben untergeht, ſo erſcheint der Regenbogen im Oſten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale iſt; wenn der Beobachter in der Ebene ſteht, ſo bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis, er kann aber mehr als einen Halbkreis überſehen, wenn er auf einer iſolirten Bergſpitze von geringer Breite oder auf einem hohen Thurme ſteht. Bei Sonnenaufgang erſcheint der Regenbogen im Weſten. Je höher die Sonne ſteigt, deſto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter den Horizont, deſto kleiner iſt alſo das dem Auge ſichtbare Bogenſtück. Wenn die Sonne 42° 30′ hoch ſteht, iſt für einen in der Ebene ſtehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr ſichtbar, weil alsdann der Gipfel deſſelben gerade in den Horizont, der ganze Bogen alſo unter den Horizont fallen würde. Von den Maſten der Schiffe ſieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; ſolche ganz kreisförmige Regenbogen ſieht man auch oft an Waſſerfällen und Springbrunnen.

Außer dem eben beſprochenen Regenbogen ſieht man gewöhnlich noch einen zweiten größeren, mit dem erſteren concentriſchen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte iſt; beim äußeren Regenbogen iſt nämlich das Roth innen, das Violett außen. Der äußere Regenbogen iſt weit weniger lichtſtark als der innere, er erſcheint weit blaſſer. Man hatte früher die irrige Anſicht, der zweite Regenbogen ſei gleichſam ein Spiegelbild des erſten. Die Entſtehung des äußeren Regenbogens beruht auf denſelben Principien wie die des inneren, er entſteht durch Sonnenſtrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 195 iſt der Gang eines Lichtſtrahles dargeſtellt, welchen derſelbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlaſſen. SA iſt der einfallende Sonnenſtrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C geſpiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In dieſem Falle ſchneiden ſich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, deſſen Größe veränderlich iſt, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, alſo unter einem anderen Einfallswinkel, trifft. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungswinkels d zu ermitteln.

Fig. 195.



Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie dies bei jedem Fünfeck der Fall iſt, 6 rechte oder 540°. Um den Winkel d zu finden, haben wir alſo nur von 540° die Eckwinkel bei A, B, C und D abzuziehen;

jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt $2r$, zuſammen machen ſie alſo $4r$ aus; der Winkel bei D ſowohl als der bei A iſt aber gleich r + dem Winkel MDE; für den Winkel MDE können wir aber ſeinen Werth $180 - i$ ſetzen, folglich iſt der Winkel CDE gleich $r + 180 - i$, die beiden Eckwinkel bei A und D ſind alſo zuſammen $2r + 360 - 2i$; zieht man nun von 540^0 die beiden Eckwinkel bei B und C, alſo $4r$, und die beiden Eckwinkel bei A und D, alſo $2r + 360 - 2i$ ab, ſo kommt:

$$d = 540 - 4r - (2r + 360 - 2i)$$

oder

$$d = 180^0 + 2i - 6r.$$

Nach dieſer Formel ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe des Einfallswinkels i und des Ablenkungswinkels d für violettes und rothes Licht:

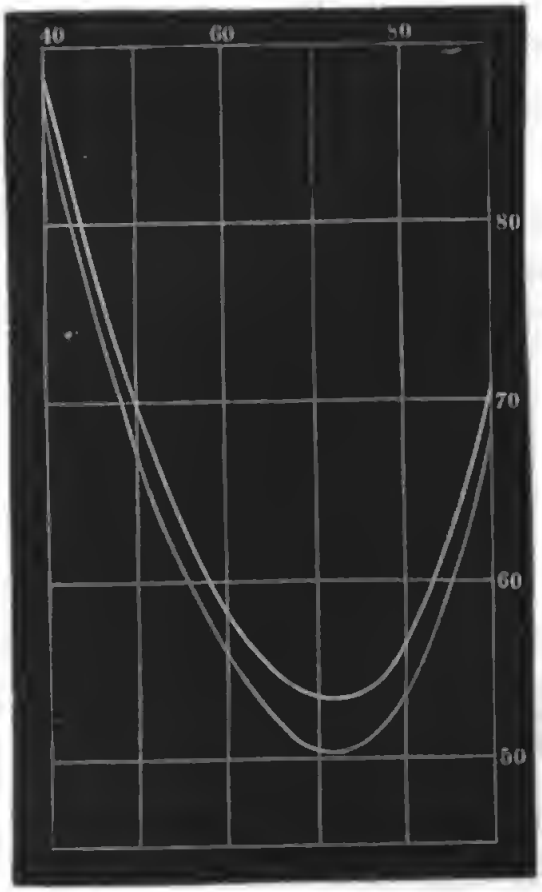
Einfallswinkel	Ablenkungswinkel für Roth	Ablenkungswinkel für Violett
0	180^0	180^0
40	86 36′	88 0′
60	56 18	58 24
70	50 18	53 24
80	53 24	56 12
90	68 30	70 18

Wenn ein rechtwinklig auf den Tropfen fallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, ſo tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und des austretenden Strahls iſt für dieſen Fall gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine zweite Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahls bildet; die Ablenkung iſt alsdann 180^0. Trifft der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, ſo nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der Einfallswinkel wächſt. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71^0 iſt die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt ſie für die rothen Strahlen ungefähr 50^0, für violette nahe $53^1/_2{}^0$. Für noch größere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder zu.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle ſind die beiden Curven der Fig. 196 conſtruirt, und zwar gilt die untere für die rothen, die obere für die violetten Strahlen. Man ſieht aus dem Anblick der Figur, daß in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, daß alſo in der Richtung der kleinſten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und dieſe Strahlen ſind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlaſſend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den erſten Regenbogen entwickelten Schlußweiſe ergiebt ſich, daß man unter den geeigneten Umſtänden einen rothen Bogen

ſehen wird, deſſen Halbmeſſer unter einem Winkel von 50°, und einen violetten, deſſen Radius unter einem Winkel von $53^1/_2{}^0$ erſcheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt alſo ungefähr $3^1/_2{}^0$.

Fig. 196.



In Fig. 196 ſtellt der Höhenunterſchied der beiden concaven Gipfel der oberen Curven die Breite des äußeren Regenbogens dar.

Der Zwiſchenraum der beiden Regenbogen beträgt ungefähr $7^1/_2$ Grad.

Der äußere Regenbogen iſt blaſſer, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, indem das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen ſehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn dieſe Strahlen nicht zu lichtſchwach wären.

126 **Höfe und Nebensonnen.** Oft ſieht man, wenn der Himmel mit einem leichten Wolkenſchleier überzogen iſt, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Sehr häufig ſieht man dieſe Ringe nicht vollſtändig, ſondern nur ſtückweiſe. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, ſo liegt der Grund darin, daß das Licht der Sonne zu blendend iſt; man ſieht aber dieſe auch, ſobald man das Bild der Sonne in ruhigem Waſſer oder in einem auf der Rückſeite geſchwärzten Spiegel betrachtet.

Dieſe Höfe haben die größte Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme ſieht, wenn man ſie durch eine mit Semen lycopodii beſtreute Glasplatte betrachtet (Lehrb. d. Phyſik, 5te Aufl. Bd. I. S. 623), und ſicherlich ſind die Höfe ebenſo wie dieſes Phänomen zu den Interferenzerſcheinungen zu zählen; die Dunſtbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Bisweilen ſieht man auch noch zwei größere farbige Kreiſe um die Sonne

und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechſeln ſind; der Halbmeſſer des kleineren dieſer hellen Ringe erſcheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des größeren aber unter einem Winkel von 46 bis 47°; das Roth iſt bei demſelben nach innen gekehrt, der innere Rand iſt ſchärfer, der äußere mehr verſchwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erſcheinen die beiden Kreiſe zu gleicher Zeit. Tab. XV a ſtellt die Erſcheinung dar, wie man ſie am häufigſten zu beobachten Gelegenheit hat, nämlich den Mond umgeben mit einem weißlichen Ring von 22 bis 23° Radius. Um die Sonne wird dieſer Ring ſeltener beobachtet; er erſcheint dann meiſtens von einem horizontalen lichten Streifen durchſchnitten, welcher in gleicher Höhe mit der Sonne ſich oft bis zu dieſer ſelbſt hin erſtreckt. Da, wo dieſer Streifen den Lichtring durchſchneidet, iſt er am hellſten; dieſe hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am Umfange des Ringes ſieht, ſind die Nebenſonnen; bisweilen erſcheint eine ſolche Nebenſonne auch vertical über der Sonne im Gipfel des Ringes; oder es erſcheint hier ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 197 dargeſtellt iſt. Oft ſieht man die Nebenſonnen auch ohne die Ringe,

Fig. 197.

oder die Ringe ohne die Nebenſonnen. Dieſe Ringe und die Nebenſonnen erſcheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, ſondern nur, wenn derſelbe mit einem Schleier überzogen iſt.

Die erwähnten Ringe hat ſchon Mariotte durch eine Brechung des Lichts in den in der Luft ſchwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln ſechsſeitige Säulen ſind, ſo bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zuſammenſtoßende Seitenflächen einen Winkel von 60° mit einander, die Eisnadeln

bilden alſo gewiſſermaßen gleichſeitige dreiſeitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erlitten haben, ſind den wirkſamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen ſehr nahe in derſelben Richtung austreten. Dieſe Hypotheſe erklärt alſo zugleich die Bildung des Ringes, ſeine Größe und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt ſich durch die Annahme, daß die Axe der Prismen in der Weiſe ſchief ſteht, daß der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Baſis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, deſſen brechender Winkel 90° beträgt, iſt in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Den Nebenſonnenſtreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenſtrahlen an den verticalen Flächen der Eisnadeln; er iſt da am hellſten, wo er den Ring von 23° durchſchneidet, weil hier zwei Urſachen ſtärkerer Erleuchtung zuſammenwirken. Fraunhofer erklärt die Nebenſonnenſtreifen als Interferenzerſcheinung. Am vollſtändigſten iſt die Theorie der Höfe und Nebenſonnen von Galle behandelt worden (Pogg. Annal. Bd. XLIX).

Drittes Buch.

Die
calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche
und
in der Atmosphäre.

Erſtes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

Die Meteorologie. Steigen wir aus den Himmelsräumen herab auf 127
die Oberfläche der Erde, ſo befinden wir uns auf einem Schauplatz, auf welchem ſich nicht blos phyſikaliſche Phänomene entwickeln, ſondern auf welchem uns auch ein reiches vielgeſtaltetes organiſches Leben entgegentritt. Zu den wichtigſten Factoren, durch welche das Leben der Pflanzen- und Thierwelt von den einfachſten und niedrigſten Formen bis zu den entwickeltſten und vollendetſten vermittelt wird, gehören ohne Zweifel die Luft, das Waſſer und die Wärme.

Alles organiſche Leben iſt durch Stoffwechſel bedingt, der Stoffwechſel hängt aber von einer gewiſſen Beweglichkeit der Atome ab, welche nur bei luftförmigen und tropfbaren flüſſigen Körpern vorhanden iſt. Die Beweglichkeit der Theilchen, ohne welche Stoffwechſel und mithin organiſches Leben unmöglich iſt, wird aber nur durch die Wärme erhalten. Ohne Wärme erſtarren alle Flüſſigkeiten und eine vollſtändige Erſtarrung führt den Tod aller Organismen nach ſich.

Während alſo Luft und Waſſer diejenigen Stoffe ſind, welche vorzugsweiſe als Träger des organiſchen Lebens bezeichnet werden müſſen, erſcheint uns unter allen Naturkräften keine für das organiſche Leben unentbehrlicher als die Wärme.

Die Wärme iſt auf der Erdoberfläche und in der Atmoſphäre nicht nur ungleich verbreitet, ſondern dieſe Verbreitung ſelbſt iſt einem beſtändigen Wechſel unterworfen, welcher Luftſtrömungen (Winde) erzeugt und auf der einen Seite maſſenhafte Verdampfung des Waſſers, auf der andern Seite aber den Niederſchlag des in der Atmoſphäre verbreiteten Waſſerdampfs bedingt, wodurch dann Wolken, Regen, Schnee u. ſ. w. erzeugt werden.

Der jeweilige Wärme- und Feuchtigkeitszuſtand der Atmoſphäre und die damit zuſammenhängenden Erſcheinungen werden gewöhnlich als Witterung bezeichnet.

Die Geſammtheit der Witterungsverhältniſſe eines Ortes nennt man das Klima deſſelben.

Mit dem Namen der Meteorologie bezeichnet man denjenigen Zweig der Naturlehre, welcher sich mit der Untersuchung der Witterungserscheinungen und den damit zusammenhängenden atmosphärischen Phänomenen beschäftigt.

Wenn man die Meteorologie hinsichtlich der Sicherheit ihrer Resultate mit der Astronomie vergleicht, so fällt diese Vergleichung im höchsten Grade ungünstig für die Meteorologie aus.

Auf Jahrzehnte, ja auf Jahrhunderte voraus kann man den Moment berechnen, in welchem eine Sonnen- oder Mondfinsterniß beginnen und aufhören wird. Mit gleicher Sicherheit kann man die Stelle am Himmelsgewölbe vorausbestimmen, an welcher ein Planet in einem bestimmten Zeitpunkt stehen wird, so daß man jetzt ein Fernrohr so aufzustellen im Stande ist, daß ein bestimmter Planet nach zehn, ja nach hundert Jahren an einem bestimmten Tage zu einer bestimmten Stunde das Gesichtsfeld des Fernrohrs passiren muß. — Dagegen ist es meist unmöglich, die Witterung nur auf wenige Tage, oft auch nur auf wenige Stunden mit Sicherheit voraus zu bestimmen.

Wollte man aus der Vergleichung astronomischer und meteorologischer Resultate einen Schluß ziehen auf die physikalischen Gesetze, welche beiden Disciplinen zu Grunde liegen, so würde man doch einen großen Irrthum begehen.

Die Bewegungen der Himmelskörper sind nur durch mechanische Gesetze bedingt; die Erklärung der meteorologischen Erscheinungen müssen wir dagegen vorzugsweise in den Gesetzen der Wärmelehre suchen.

Wenn nun freilich die Mechanik die vollendetste aller physikalischen Disciplinen ist, so sind doch auch wenigstens die empirischen Gesetze der Wärmelehre fest begründet, und der Abstand zwischen der wissenschaftlichen Vollendung der Mechanik und der Wärmelehre ist keineswegs so groß, als es nach dem obigen Vergleich astronomischer und meteorologischer Resultate scheinen möchte.

Die Unsicherheit meteorologischer Vorausbestimmungen rührt also nicht von der Unsicherheit der physikalischen Gesetze her, welche hier in Anwendung kommen, sondern daher, daß die hier thätigen Kräfte unter den complicirtesten und stets wechselnden Verhältnissen zur Wirkung gelangen.

Die Bewegung der Planeten ist fast ausschließlich durch die Massenanziehung der Sonne bestimmt, die Störungen, welche die Planetenbahnen durch die gegenseitige Einwirkung der Planeten untereinander erleiden, sind äußerst gering. Wären in unserm Planetensystem zwei Sonnen vorhanden, welche um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen, wie dies bei den Doppelsternsystemen wirklich der Fall ist, so würden die Bewegungen der in diesem System etwa vorhandenen Planeten schon der verwickeltsten Art sein, und gewiß würde die Sicherheit der Vorausberechnung für ein solches System weit hinter der Sicherheit unserer Astronomie zurückbleiben, obgleich hier wie dort das Gesetz der allgemeinen Massenanziehung den Gang der Erscheinungen beherrscht.

Die Wärme auf der Erdoberfläche rührt, wie wir bald sehen werden, fast ausschließlich von den Sonnenstrahlen her.

Wäre nun die Erdoberfläche überall ganz gleicher Natur, bestände sie z. B. mit Ausschluß alles Wassers überall aus derselben Gesteinsart ohne alle Er

hebung, und wäre die Erde wie der Mond ohne Atmosphäre, so wäre der Gang der calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche ohne Zweifel von der größten Regelmäßigkeit. So aber wirken die Sonnenstrahlen bald auf Wasser, bald auf Land; bald ist der Boden ihrer Wirkung direct ausgesetzt, bald werden sie von dichten Wolkenmassen aufgehalten. Die an einem Orte durch die Sonnenstrahlen entwickelte Wärme wird durch Luft und Meeresströmungen anderen Gegenden zugeführt. Die Wirkung der Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche wird also durch so mannigfaltige Einflüsse modificirt, die uns zum Theil nicht einmal genügend bekannt sind, daß ein einfacher mit Sicherheit voraus zu bestimmender Gang der Erscheinungen nicht möglich ist, obgleich wir im Stande sind den Zusammenhang der meteorologischen Erscheinungen nachzuweisen.

Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen. 128

Die Erwärmung unsrer Erdoberfläche und der Atmosphäre stammt fast ausschließlich von der Sonne her; denn die eigenthümliche Wärme des Erdkörpers ist auf seiner Oberfläche nicht mehr merklich und die Wärmemenge, welche durch chemische Processe, z. B. durch Verbrennung entwickelt wird, ist verschwindend gegen die Wärmequantitäten, welche den Gang der meteorologischen Verhältnisse bedingen. Die Sonnenstrahlen allein sind es also, welche theilweise in der Atmosphäre, vorzugsweise aber von der Erdoberfläche absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt, die zur Erhaltung der thierischen und pflanzlichen Organismen nöthige Wärme liefern.

Die Erwärmung des Bodens hängt von der Richtung ab, in welcher die Sonnenstrahlen ihn treffen, und da diese Richtung eine nach bestimmten Gesetzen regelmäßig wechselnde ist, so ist klar, daß der Erwärmungszustand der Erdoberfläche und der unteren Schichten der Atmosphäre periodischen Variationen folgen muß, und zwar haben wir eine tägliche und eine jährliche Periode im Gange der Lufttemperatur (der Temperatur der untersten Luftschichten) zu unterscheiden.

Während der Erde durch die Sonnenstrahlen Wärme zugeführt wird, verliert sie auf der anderen Seite Wärme durch Ausstrahlung gegen die kälteren Himmelsräume. Im Allgemeinen halten sich Ein- und Ausstrahlung das Gleichgewicht, d. h. die Summe der Wärme, welche der Erde durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist derjenigen gleich, welche sie durch Ausstrahlung verliert. Dabei ist aber die Wärme über die Erdoberfläche weder gleichförmig noch unveränderlich vertheilt. Die höchste Erwärmung der Erdoberfläche und der unteren Luftschichten finden wir in den Aequatorialgegenden, während es um so kälter wird, je mehr wir uns den Polen nähern. Fassen wir aber die Temperatur irgend eines bestimmten Ortes auf der Erdoberfläche ins Auge, so zeigt sich, daß sie beständigen Schwankungen unterworfen ist, indem in Folge der veränderlichen Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche bald die Einstrahlung, bald die Ausstrahlung das Uebergewicht gewinnt.

Da nun aber die Veränderungen, welche die Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche erfährt, an zwei Perioden, eine tägliche und eine jährliche, ge-

bunden iſt, ſo iſt klar, daß auch die Variationen der Temperatur an irgend einem Ort der Erdoberfläche eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen müſſen.

129 **Die fünf Zonen.** Für verſchiedene Gegenden der Erdoberfläche ſind die Inſolationsverhältniſſe äußerſt ungleich. Innerhalb der Wendekreiſe, wo Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch faſt gleich ſind, wo die Sonne bei ihrem höchſten Mittagsſtande das Zenith paſſirt, und wo die niedrigſte Mittagshöhe mindeſtens 44° (die niedrigſte Mittagshöhe der Sonne iſt für die Wendekreiſe 43° 42′, für den Aequator 66° 32′), beträgt, wo alſo täglich die Sonnenſtrahlen eine kräftige Wirkung ausüben können, muß auch ſtets eine hohe Lufttemperatur herrſchen. Jener zwiſchen den Wendekreiſen gelegene Aequatorialgürtel wird deshalb auch die heiße Zone genannt. Sie iſt der Schauplatz des reichſten Thier- und Pflanzenlebens.

Die Gegenden der heißen Zone werden auch die Tropen genannt, weil ſie zwiſchen den Wendekreiſen, den circulis tropicis, liegen.

Den Gegenſatz der heißen Zone bilden die Umgebungen der Pole.

Innerhalb der beiden von den Polarkreiſen (66° 32′ nördlicher und ſüdlicher Breite) begrenzten Kugelabſchnitten kommt die Sonne Tage, Wochen, Monate lang gar nicht über den Horizont, und auch dann nur, um in ſehr ſchräger Richtung den Boden zu treffen; hier alſo kann nur eine geringe Wärmeentwickelung ſtattfinden und hier ſtarrt deshalb auch faſt das ganze Jahr hindurch die Natur in Schnee und Eis.

Der von dem nördlichen Polarkreis eingeſchloſſene Raum wird die nördliche, der von dem ſüdlichen Polarkreis eingeſchloſſene Raum wird die ſüdliche kalte Zone genannt.

Der Gürtel zwiſchen dem nördlichen Wendekreis und dem nördlichen Polarkreis bildet die nördliche gemäßigte Zone, gleich wie die ſüdliche gemäßigte Zone ſich vom ſüdlichen Wendekreis bis zum ſüdlichen Polarkreis erſtreckt. Je mehr man in dieſen gemäßigten Zonen gegen die Polarkreiſe vordringt, deſto mehr nähern ſich die Temperaturverhältniſſe denen der kalten Zonen.

Im Allgemeinen alſo ſind die Temperaturverhältniſſe eines Ortes eine Function ſeines Abſtandes vom Aequator, alſo ſeiner geographiſchen Breite, und wenn ſie nur von den Inſolationsverhältniſſen bedingt wären, wenn nicht andere Factoren modificirend einwirkten, ſo müßte die mittlere Lufttemperatur gleich ſein für alle Orte gleicher geographiſcher Breite. Wir werden bald ſehen, daß, und warum dies nicht der Fall iſt.

130 **Die täglichen Variationen der Lufttemperatur.** Wenn die Sonne, nachdem ſie am öſtlichen Himmel aufgegangen iſt, höher und höher über den Horizont ſich erhebt, ſo muß die immer kräftiger wirkende Inſolation ein Steigen der Lufttemperatur zur Folge haben. Wenn die Sonne ihren höchſten Stand erreicht hat, ſo iſt jedoch die Temperatur der Erdoberfläche noch keines-

wegs so hoch gestiegen, daß sie eben so viel Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen könnte, als sie durch die Sonnenstrahlen empfängt. Deshalb dauert das Steigen der Temperatur noch über Mittag fort, und erst 1 bis 2 Stunden nach der Culmination der Sonne, wenn ihre Höhe schon merklich abgenommen hat, tritt ein momentaner Gleichgewichtszustand zwischen Ein- und Ausstrahlung ein, das Maximum der täglichen Temperatur findet deshalb erst um 1 bis 2 Uhr Nachmittags statt. Von da an aber gewinnt bei immer mehr sinkender Sonne die Ausstrahlung das Uebergewicht, die Temperatur sinkt anfangs langsam, dann rascher in den Abendstunden. Während der Nacht, wo gar keine Einstrahlung stattfindet, dauert das Sinken der Temperatur mit abnehmender Schnelligkeit fort, bis sie zur Zeit des Sonnenaufganges ihr Minimum erreicht hat.

Da im Sommer die Sonnenhöhen im Laufe des Tages zwischen weiteren Gränzen variiren (zwischen 0 und 63° für das mittlere Deutschland), als im Winter (zwischen 0 und 17° für den 50. Breitegrad), so ist klar, daß die Gränzen, zwischen welchen die Temperatur im Laufe eines Tages schwankt, im Sommer weiter auseinander liegen als im Winter. In der That beträgt z. B. für München die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur des Tages im Monat Januar im Durchschnitt nur 2° C., während im Juli das tägliche Maximum durchschnittlich 6,2° höher ist als das tägliche Minimum.

Aus ähnlichen Gründen müssen nun auch die täglichen Temperaturschwankungen in den Aequatorialgegenden viel bedeutender sein als in höheren Breiten. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt; so beobachtete z. B. Barth auf seiner Reise in das Innere von Afrika vom Aufgang der Sonne bis zum Nachmittag oft ein Steigen von 6 auf 30, ja von 8 auf 43° Celsius.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung allerdings die Resultate unserer obigen Raisonnements über den täglichen Gang der Wärme, sobald wir aber einzelne Tage herausgreifen, finden wir häufig solche Störungen des normalen Ganges, daß das Gesetz vollständig verwischt erscheint.

Von der Natur dieser Störungen und ihrer Ursachen wird weiter unten die Rede sein.

Die Jahreszeiten. Die Sonne theilt nicht allein mit dem ganzen 131
Himmelsgewölbe die tägliche Umdrehung, sondern sie legt im Lauf eines Jahres am Himmelsgewölbe eine Bahn zurück, welche zur Hälfte nördlich, zur anderen Hälfte südlich von dem Himmelsäquator liegt. Eine Folge davon ist, daß wenigstens in den gemäßigten Zonen Tagesdauer und Mittagshöhe der Sonne ein halbes Jahr lang zunehmen, um dann in der folgenden Jahreshälfte in gleicher Weise wieder abzunehmen. Dies hat dann den regelmäßigen Wechsel der Jahreszeiten zur Folge, deren Verlauf wir zunächst für die geographische Breite des mittleren Deutschlands betrachten wollen.

Am 21. März passirt die Sonne den Himmelsäquator, um von der südlichen auf die nördliche Himmelskugel überzugehen. Tag und Nacht sind gleich lang, und die Mittagshöhe, zu welcher die Sonne ansteigt, beträgt 40°. Nun

aber findet eine raſche Zunahme der Mittagshöhe der Sonne ſowohl wie auch der Tagesdauer Statt; bei immer kräftiger werdender Inſolation bleibt der Boden nun länger und länger dem erwärmenden Einfluß der Sonnenſtrahlen ausgeſetzt, die Lufttemperatur muß alſo ſteigen.

Allmälig wird die Zunahme der Tagesdauer und der Mittagshöhe langſamer, bis endlich am 21. Juni die Sonne ihre größte nördliche Breite erreicht, und ſomit auch der längſte Tag von 16 Stunden und die größte Mittagshöhe der Sonne von $63^1/_2$ Graden eintritt.

Aus demſelben Grunde, warum das tägliche Maximum der Temperatur nicht auf die Mittagsſtunde fällt, tritt auch das jährliche Temperaturmaximum nicht mit dem längſten Tage ein, ſondern ſpäter, ſo daß im Durchſchnitt der Juli der heißeſte Monat iſt.

Nach dem längſten Tage nimmt die Tagesdauer und die Mittagshöhe der Sonne erſt langſam, dann raſcher ab, und mit der raſcheren Abnahme beider ſtellt ſich dann auch ein Sinken der Luftwärme ein. Am 22. September, dem Herbſtäquinoctium, paſſirt die Sonne abermals den Himmelsäquator, um auf die ſüdliche Hemiſphäre der Himmelskugel überzugehen. Nun werden die Nächte länger als der Tag, die Mittagshöhe der Sonne nimmt mehr und mehr ab, bis ſie am 21. December, als am kürzeſten Tage (von 8 Stunden) ihr Minimum von 17 Grad erreicht. Unter dieſen Umſtänden, da die Wirkung der ohnehin ſehr ſchräg auffallenden Sonnenſtrahlen nur auf wenige Stunden beſchränkt bleibt, und der Boden die lange Nacht hindurch Wärme durch Ausſtrahlung verliert, muß die Lufttemperatur bedeutend ſinken; doch tritt das Minimum der Jahrestemperatur in der Regel erſt gegen die Mitte des Januars ein, da unmittelbar nach dem kürzeſten Tage die Zunahme der Tageslänge und der Mittagshöhe der Sonne noch zu unbedeutend iſt, um ein Steigen der Temperatur bewirken zu können.

So iſt denn im Allgemeinen der Gang der Lufttemperatur im Laufe des Jahres für Deutſchland folgender: Von der Mitte Januar an ſteigt die Temperatur bis gegen die Mitte Juli, um von da allmälig bis zur Mitte Januar wieder abzunehmen. Das Steigen und Fallen der Temperatur iſt am langſamſten vor und nach der Zeit des jährlichen Maximums und Minimums, am raſcheſten um die Zeit der Aequinoctien.

Die drei heißeſten Monate, Juni, Juli und Auguſt, bilden den Sommer, die Zeit, in welcher die kräftigſte Entwickelung der Vegetation vor ſich geht. Den Winter bilden die drei kälteſten Monate, December, Januar und Februar, während welcher die Vegetation faſt gänzlich ruht. Während des Frühlings, März, April und Mai, findet ein allmäliges Erwachen, während des Herbſtes, September, October und November, ein allmäliges Abſterben der Pflanzenwelt Statt.

Die Differenz zwiſchen der mittleren Temperatur des heißeſten und des kälteſten Monats beträgt für Deutſchland im Durchſchnitt 16° R.

Der oben beſchriebene Wechſel der Jahreszeiten bezieht ſich auf Länder

mittlerer geographiſcher Breite; in höheren wie in niederen Breiten geſtaltet ſich die Sache weſentlich anders.

Unter höheren Breiten wird die Dauer des kürzeſten Tages immer geringer, die Sonnenhöhe immer unbedeutender, die Winterkälte muß alſo gegen die Pole hin immer zunehmen; zugleich aber nimmt die Dauer des Winters zu, denn während der Aequinoctialperiode iſt die Wirkung der Sonnenſtrahlen in jenen Ländern noch viel zu gering, um Eis und Schnee zu ſchmelzen oder das Gefrieren des Waſſers zu verhindern, der Winter erſtreckt ſich alſo noch über einen Theil der Monate, welche bei uns den Frühling und den Herbſt ausmachen. Im Sommer aber wird die im Vergleich zu unſeren Gegenden geringere Mittagshöhe der Sonne durch die längere Dauer der Sommertage nahezu wieder ausgeglichen (unter dem 60. Breitengrade z. B., welcher ungefähr über Petersburg und Stockholm geht, iſt der längſte Tag $18^1/_2$ Stunde, die höchſte Mittagshöhe der Sonne $53^1/_2{}^0$), ſo daß die Sommerhitze immer noch eine ſehr bedeutende werden kann. In jenen Gegenden herrſcht alſo ein langer kalter Winter, welcher raſch in einen heißen kurzen Sommer übergeht, ſo daß die Uebergangs-Jahreszeiten, Frühling und Herbſt, mehr und mehr verſchwinden.

Innerhalb der Polarkreiſe fallen endlich die Sonnenſtrahlen ſelbſt zur Zeit der größten Sonnenhöhe noch ſo ſchräg auf, daß ſie trotz der langen Tagesdauer keine kräftige Erwärmung hervorbringen können; ſtatt des Sommers tritt nur eine mehr oder weniger bedeutende Unterbrechung in der Strenge der Winterkälte ein.

Wenden wir uns von Deutſchland aus zu ſüdlicheren Ländern, ſo muß dort aus zweierlei Gründen der Winter immer milder werden, denn einmal erreicht die Sonne ſelbſt zur Zeit des Winterſolſtitiums noch eine ziemlich bedeutende Mittagshöhe (unter dem 30. Breitengrade z. B. noch $36^1/_2{}^0$), während zugleich die Dauer der Wintertage größer iſt als bei uns (für den 30. Breitengrad z. B. iſt die Dauer des kürzeſten Tages 10 Stunden 4 Minuten). Während ſo die Winterwärme ſteigt, wächſt die Sommerwärme nicht in gleichem Maße, denn die Wirkung der größeren Sonnenhöhe wird dadurch zum Theil neutraliſirt, daß die Sommertage nicht ſo lang ſind als bei uns.

Die Differenz zwiſchen Sommer- und Wintertemperatur muß alſo um ſo mehr abnehmen; je mehr wir uns von den Polen aus den Wendekreiſen nähern.

Innerhalb der Wendekreiſe aber verſchwindet der Charakter unſerer Jahreszeiten faſt ganz. Auf dem Aequator paſſirt die Sonne zweimal, im März und September, das Zenith, während die niedrigſte Mittagshöhe der Sonne (Ende Juni und December) noch $66^1/_2{}^0$ beträgt. Bedenkt man ferner, daß auf dem Aequator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht gleich ſind, ſo begreift man leicht, daß die jährlichen Temperaturvariationen für die Aequatorialgegenden nur ſehr unbedeutend ſein können.

Vom Aequator aus gegen die Wendekreiſe hin wird allmälig der Charakter unſerer Jahreszeiten wieder merklich, während er erſt in den gemäßigten Zonen entſchieden zur Geltung kommt.

In den südlichen gemäßigten Zonen wechseln die Jahreszeiten wie bei uns, nur ist begreiflich dort Winter, wenn wir Sommer haben und umgekehrt.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung die Resultate der obigen Betrachtung. So beträgt z. B. die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heißesten und des kältesten Monats für

Quito	1,4° R.
Havannah	4,5
Mexico	6,3
Palermo	11,1
Rom	13,7
München	15,6
Prag	18,6
Moskau	23,5
Irkutzk	30,3
Jakutzk	50,8.

132 **Modificationen normaler Temperaturverhältnisse.** Die durch die Attraction der Sonne vorgeschriebene Bahn eines jeden Planeten wird durch den *störenden* Einfluß der übrigen kaum alterirt, die *Störungen* spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Anders ist es mit den klimatischen Verhältnissen. Allerdings ist der Erwärmungszustand der unteren Luftschichten eine Function der Insolationsverhältnisse, aber eine Function, in welcher mehrere mannigfach wechselnde Factoren eintreten, so daß die Störungen den regelmäßigen Gang oft gänzlich maskiren. Wäre die Natur der Erdoberfläche überall dieselbe (d. h. fehlte die Abwechselung zwischen Wasser und Land, zwischen Berg und Thal, zwischen bewaldetem und pflanzenleerem Boden), würde die Wirkung der Insolation nicht durch wechselnde Bewölkung des Himmels modificirt, und würde die Wärme nicht durch Luft und Meeresströmungen von einem Orte zum anderen fortgeführt, so müßten nicht allein alle Orte gleicher geographischen Breite gleiche klimatische Verhältnisse haben, sondern es müßten auch die täglichen und jährlichen Variationen der Lufttemperatur vollkommen regelmäßig verlaufen.

Dem ist aber in der That nicht so. — So hat z. B. Neapel eine mittlere Jahreswärme von 12,25°, während bei gleicher nördlicher Breite Newyork nur eine mittlere Jahreswärme von 8,7° hat. Christiania und Quebec haben fast gleiche mittlere Jahreswärme (4,2 und 4,4°) und doch liegt Quebec um mehr als 13 Breitengrade südlicher als Christiania. Ebenso ist an einem und demselben Orte der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen sehr verschieden, und demselben Jahrestag entspricht keineswegs stets dieselbe Temperatur, wie es sein müßte, wenn die Luftwärme allein vom Sonnenstande abhinge. So war z. B. zu Frankfurt am Main — 14° R. die mittlere Temperatur des 22. Januar 1850, + 8,5° R. die desselben Tages im Jahre 1846. — Im Jahre 1846 war zu Frankfurt am Main der 22. Januar um 2° wärmer als der 14.

Mai. Ebendaſelbſt fiel im Jahre 1841 der heißeſte Tag auf den 24. Mai (mit 20° R.), im Jahre 1842 aber auf den 19. Auguſt (mit 21° R.).

Solche Anomalien zeigen deutlich, wie ſehr die Luftwärme außer den Inſolationsverhältniſſen noch von anderen mächtig influirenden und veränderlichen Factoren bedingt werde. Wenn am 22. Januar 1846 zu Frankfurt am Main eine Wärme von $8^1/_2$° R. herrſchte, ſo konnte dieſe hohe Temperatur unmöglich direct durch die Sonnenſtrahlen hervorgerufen ſein, und zwar um ſo weniger, als jener Tag ein durchaus bewölkter Regentag war; die damals herrſchenden Südweſtwinde hatten die Wärme offenbar aus ſüdlicheren Gegenden zugeführt; eben ſo wie die verhältnißmäßig niedrige Temperatur des 14. Mai nur das Reſultat rauher Nordoſtwinde war.

Somit iſt denn klar, daß theoretiſche Betrachtungen nicht genügen, um die klimatiſchen Verhältniſſe eines Landes zu beſtimmen oder den Gang der täglichen oder jährlichen Temperaturſchwankungen zu ermitteln. Die wahre Vertheilung der Wärme auf der Erdkugel läßt ſich nur durch zahlreiche, Jahre lang fortgeſetzte Beobachtungen genügend ermitteln. Humboldt hat hier den für alle Naturwiſſenſchaften einzig und allein zur Wahrheit führenden Weg der Induction zuerſt mit Erfolg betreten. Auf ſeinen Reiſen auf beiden Hemiſphären hat er mit unermüdlichem Eifer zahlreiche Thatſachen geſammelt, und durch geiſtreiche Combination dieſer Thatſachen zuerſt eine wiſſenſchaftliche Meteorologie begründet.

Stündliche Beobachtungen. Zur Löſung vieler meteorologiſcher 133
Fragen iſt es von Wichtigkeit, daß an verſchiedenen Orten die Beobachtung der Temperatur der Luft von Stunde zu Stunde oder wenigſtens alle zwei Stunden während des Tages ſowohl als während der Nacht wo möglich eine Reihe von Jahren hindurch fortgeſetzt werde. Die älteſte derartige Beobachtungsreihe iſt die, welche Chiminello zu Padua während eines Zeitraumes von 16 Monaten machte. Später wurde eine ähnliche Beobachtungsreihe auf Brewſter's Veranlaſſung auf dem Fort Leith bei Edinburgh angeſtellt. Gegenwärtig iſt die Wiſſenſchaft im Beſitz einer ziemlichen Anzahl ſolcher Beobachtungsreihen, unter denen wir die zu Halle, Göttingen, München, Kremsmünſter, Prag, Brüſſel, Greenwich, Apenrade, Rom, der kariſchen Pforte, Petersburg, Nertſchinsk, Barnaul, Bombay, Madras, Rio-Janeiro, Frankfort-Arſenal bei Philadelphia, Inſel Melville u. ſ. w. hervorheben.

An mehreren Orten, z. B. zu München und zu Prag, wird der Gang des Thermometers durch eigens dazu eingerichtete Inſtrumente aufgezeichnet. Die Beſchreibung dieſer von Lamont und Kreil ſehr zweckmäßig und ſinnreich conſtruirten Inſtrumente würde uns hier zu weit führen; wir müſſen deshalb auf die »Beſchreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Inſtrumente und Apparate von Lamont,« München 1851, und den dritten Band der »Prager Beobachtungen« verweiſen.

Wenn man die ſtündlichen Beobachtungen einzelner Tage betrachtet, ſo ſcheint der Gang der Temperatur ein ziemlich regelloſer und von einem Tage

zum anderen oft wechselnder. So geben z. B. die beiden untersten feingezogenen Curven der Fig. 198, den Münchener Beobachtungen zufolge, den Gang der Temperatur am 9. und 10. Januar 1841. Am 9. Januar stieg die Temperatur von 3 Uhr Nachts (8. Jan. 15^h astronomische Zeit) ziemlich regelmäßig bis 2 Uhr Nachmittags um $3^3/_4$ Grad, um dann bis zum 10. (9. Jan. 16^h astronomische Zeit) um 4 Uhr Morgens um 12 Grade zu sinken. Am 10. Januar stieg dann das Thermometer in unregelmäßigem Gange bis Mitternacht wieder um 9°. Die beiden fein gezeichneten Curven der Fig. 199 stellen den Gang der Lufttemperatur zu München am 10. und 18. Juli 1841 dar.

Fig. 198.

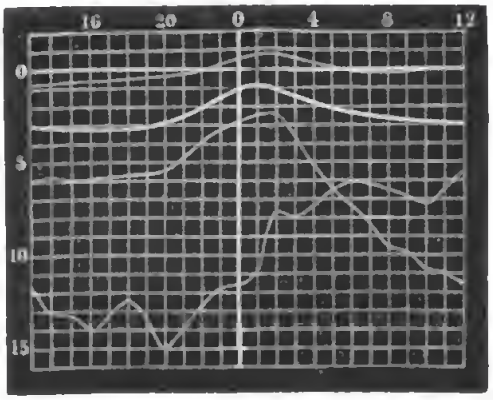
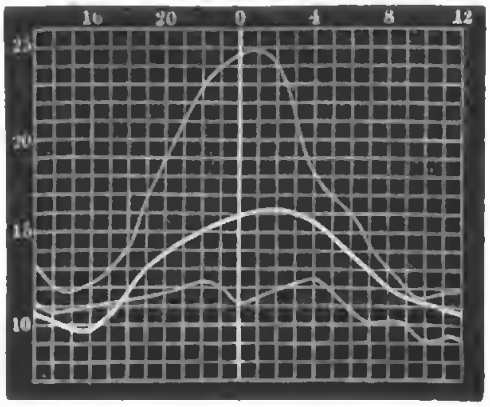


Fig. 199.



Solche Anomalien und Differenzen lassen sich leicht erklären, wenn man bedenkt, daß der Gang der Temperatur allerdings von der Stellung der Sonne gegen den Horizont abhängt, daß aber die Wirkung der Sonnenstrahlen wesentlich durch die Windrichtung, den Bewölkungszustand des Himmels u. s. w. modificirt werden. Deshalb tritt denn auch der normale Gang der täglichen Temperaturschwankungen nicht immer unmittelbar in die Erscheinung, sondern er kann nur als Mittel aus größeren Beobachtungsreihen dargestellt werden.

134 **Grösse der täglichen Temperaturschwankungen.** Nimmt man aus allen während der Jahre 1841, 1842 und 1843 im Juli zu München Morgens um 4 Uhr gemachten Beobachtungen das Mittel, so erhält man 9.9°. Ebenso ergiebt sich für 6 Uhr im Juli die mittlere Temperatur 11,2°; für 8 Uhr 14°, für Mittag 16° u. s. w. Die stark ausgezogene Curve in Fig. 199 stellt den normalen Gang der täglichen Temperaturschwankungen zu München im Laufe des Monats Juli dar, wie er sich aus den auf die angegebene Weise erhaltenen Mittelzahlen ergiebt.

Die ſtark ausgezogene Curve in Fig. 198 hat die gleiche Bedeutung für den Monat Januar.

Im Durchſchnitt ſteigt alſo zu München im Juli die Temperatur von 4 Uhr Morgens an (kurz vor Sonnenaufgang) anfangs raſch, dann langſamer bis 2 Uhr Nachmittags, um wieder anfangs raſch und dann langſamer bis zum nächſten Sonnenaufgang abzunehmen.

Das Minimum der Temperatur findet alſo ungefähr zur Zeit des Sonnenaufgangs, das Maximum ungefähr um 2 Uhr Nachmittags Statt.

Die Differenz des täglichen Maximums und Minimums beträgt im Mittel 6,2° R.

Im Januar iſt der normale Gang der täglichen Wärmeſchwankungen ein ganz anderer. Das Minimum der Wärme findet gleichfalls zur Zeit des Sonnenaufgangs Statt, welcher aber jetzt auf eine weit ſpätere Stunde fällt, das Maximum ungefähr um 1 Uhr Nachmittags. Das tägliche Maximum iſt aber im Durchſchnitt nur um 2° höher als das tägliche Minimum.

Die Größe der mittleren täglichen Temperaturveränderung iſt, wie wir bereits geſehen haben, nicht für alle Monate dieſelbe; ſie beträgt zu München im Januar 2°, im Juli 6,2°. Ebenſo iſt die Größe dieſer mittleren täglichen Veränderung an verſchiedenen Orten nicht dieſelbe, wie man aus folgender Tabelle erſieht, welche dieſe Größe für verſchiedene Orte und für die zwölf Monate des Jahres angiebt.

	Rio-Janeiro.	Bombay.	Frankfort-Arsenal.	Rom.	Prag.	Halle.	Brüssel.	Greenwich.	Leith.	Petersburg.	Nertschinsk.	Boothia.
Januar . .	2,58°	3,47°	5,33°	4,55°	1,42°	1,89°	1,84°	2,21°	1,18°	1,27°	4,94°	0,26°
Februar . .	2,79	3,23	5,64	5,61	2,85	3,38	2,62	2,84	1,59	1,52	6,33	1,54
März . . .	2,70	2,63	6,05	5,84	3,52	4,04	4,08	4,80	2,74	3,51	7,47	5,76
April . . .	2,47	2,32	6,86	6,35	6,10	6,32	6,62	5,71	4,70	5,71	7,73	5,33
Mai	2,73	2,07	7,35	6,61	4,61	7,47	6,68	6,17	3,82	6,41	9,30	5,41
Juni . . .	2,81	1,96	7,81	7,76	6,20	7,40	6,43	6,80	3,71	6,03	9,02	5,03
Juli	3,31	1,21	7,78	7,95	5,02	7,36	5,45	5,78	4,25	5,25	7,48	3,64
August . .	2,67	1,47	6,97	7,71	4,67	7,14	7,11	6,55	3,37	6,40	7,92	2,72
September	2,29	1,76	7,80	7,05	4,86	6,42	5,63	5,63	3,58	5,06	7,94	1,60
October . .	2,13	2,70	7,49	7,09	3,45	5,42	3,36	4,08	2,16	2,34	7,91	1,03
November .	2,54	3,21	4,27	5,58	2,40	2,76	2,17	2,64	1,85	0,77	5,11	0,63
December .	2,60	3,89	4,76	4,53	2,05	1,67	2,30	1,87	1,03	0,83	4,17	0,27

Es sind dies die mittleren Differenzen zwischen dem Maximum und Minimum desselben Tages. An einzelnen Tagen ist diese Differenz weit größer, an anderen wieder bedeutend kleiner. Die folgende Tabelle enthält die größte und die kleinste Differenz zwischen dem Maximum und Minimum desselben Tages, welche während einiger Jahre zu Frankfurt a. M. in den einzelnen Monaten beobachtet worden ist.

	Größte Differenz			Kleinste Differenz		
	1844	1845	1846	1844	1845	1846
Januar . . .	6,3°	5,6°	7,2°	1,0°	0,2°	0,7°
Februar . . .	9,1	10,8	8.5	2,1	1,2	0,7
März	8,8	9,7	12,6	2,1	1,7	1,5
April	12,9	11,8	11,0	2,3	2,3	3,0
Mai	12,1	11,7	13,9	2,6	3,2	1,9
Juni	13,6	12,0	12,0	5,0	3,1	1,7
Juli	10,9	12,9	14,2	2,9	1,6	4,6
August . . .	12,3	12,2	11,2	1,9	2,1	3,5
September . .	12,2	11,8	13,3	2,7	2,6	3,0
October . . .	9,3	8,1	9,5	2,1	2,2	2,5
November . .	5,7	7,6	6,8	0,5	2,0	0,8
December . .	7,5	8,0	9,1	0,3	0,2	0,6

Diese Data sind den meteorologischen Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen.

Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres. 135
Nimmt man aus den 24 im Laufe eines Tages gemachten Temperaturbeobachtungen das Mittel, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

Hat man auf diese Weise die mittlere Temperatur aller Tage eines Monats ermittelt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monats, wenn man aus den 30 oder 31 Tagesmitteln wieder das Mittel nimmt.

Die aus den 12 Monatsmitteln gezogene Mittelzahl giebt dann die mittlere Temperatur des ganzen Jahres an.

So ergeben sich z. B. aus den zu Berlin angestellten Beobachtungen folgende Mittelwerthe für die Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres von 1829 bis 1834:

	1829	1830	1831	1832	1833	1834	*D*
Januar . . .	— 4,66	— 6,11	— 3,71	— 1,13	— 2,69	2,83	— 1,90
Februar . . .	— 2,88	— 2,40	0,60	0,97	3,01	1,16	— 0,15
März	1,38	3,88	3,14	3,16	1,77	3,74	2,74
April	7,19	8,41	9,00	7,20	5,06	6,20	6,88
Mai	9,49	11,22	9,98	9,49	14,38	12,74	10,92
Juni	14,56	14,01	12,60	13,61	15,27	15,17	13,94
Juli	15,43	15,39	15,40	12,64	14,59	18,69	15,04
Auguſt . . .	13,85	14,17	14,63	14,65	11,31	16,77	14,43
September .	11,59	11,18	10,53	10,53	11,27	12,49	11,75
October . . .	6,35	7,28	9,74	7,62	7,04	7,69	7,97
November . .	0,71	4,72	2,71	2,62	3,39	3,81	3,25
December . .	— 6,93	— 0,47	1,43	1,08	3,80	1,68	1,32
Jahr	5,50	6,77	7,16	6,86	7,35	8,58	7,18

Hat man für einen Ort die mittlere Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres während eines längeren Zeitraumes ermittelt, ſo ergiebt ſich das allgemeine Monatsmittel, wenn man die Mitteltemperaturen deſſelben Monats, wie man ſie in den einzelnen Jahren erhalten hat, addirt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Beobachtungsjahre dividirt. Auf dieſe Weiſe haben ſich aus einer Reihe von 24 Beobachtungsjahren die allgemeinen Monatsmittel für Berlin ergeben, wie man ſie in der letzten Columne obiger Tabelle unter *D* findet.

Auf gleiche Weiſe ergiebt ſich das allgemeine Jahresmittel, welches für Berlin 7,18° R. iſt.

Je länger die Beobachtungsreihen fortgeſetzt ſind, deſto richtiger werden die aus ihnen berechneten allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

Es iſt für die Meteorologie von der höchſten Wichtigkeit, das allgemeine Jahresmittel und die allgemeinen Monatsmittel von möglichſt vielen Orten der verſchiedenſten Wettgegenden zu kennen; dahin würde man aber nicht leicht gelangen, wenn es nöthig wäre, wirklich von Stunde zu Stunde das Thermometer zu beobachten.

Solche ſtündliche Beobachtungen ſind viel zu mühſam, ſie bedürfen des Zuſammenwirkens mehrerer Perſonen, und deshalb werden ſie nur an verhältnißmäßig wenigen Orten angeſtellt werden können. Glücklicherweiſe kann man die mittlere Tages-, Monats- und Jahrestemperatur eines Ortes auch aus einer geringeren Anzahl von Beobachtungen ableiten, welche zu bequemen Tagesſtunden angeſtellt werden.

Von der Mannheimer Societät wurden zu diesem Zwecke die Beobachtungsstunden 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends vorgeschlagen, und diese Stunden werden auch in der That an den meisten Beobachtungsstationen von Deutschland und Nordamerika eingehalten. Andere ganz passende Beobachtungsstunden sind 6 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 8 Uhr Abends; oder die gleichnamigen Stunden 6 Uhr Morgens und 6 Uhr Abends, 7 Uhr Morgens und 7 Uhr Abends u. s. w.

Nimmt man das Mittel aus den Temperaturbeobachtungen, welche zur Zeit irgend einer der angedeuteten Stundencombinationen gemacht wurden, so erhält man eine Zahl, welche dem wahren Tagesmittel sehr nahe ist; ebenso erhält man nahezu das wahre Tagesmittel, wenn man das Mittel aus den täglichen Extremen nimmt, wie sie am Thermometrographen beobachtet werden.

Wie weit nun die auf diesem Wege erhaltenen Mittelzahlen mit den wahren Mitteln übereinstimmen, welche Correctionen etwa an ihnen anzubringen sind, kann man jedoch nur durch Vergleichung mit den stündlich angestellten Beobachtungen erfahren. Eine ausführliche Untersuchung über diesen Gegenstand hat Dove in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1846 veröffentlicht (Seite 81). In diesem Aufsatze finden sich Tabellen, die angeben, welche Correction man an den zu einer beliebigen Stunde des Tages oder aus irgend einer Stundencombination gezogenen Mittelzahlen anbringen muß, um die wahren Mittel zu finden. Diese Tafeln enthalten für 27 verschiedene Orte, die man als Normalstationen bezeichnen kann, unmittelbar die in Réaumur'schen Graden anzubringende Verbesserung, um die zu irgend einer Stunde erhaltene Temperatur auf das tägliche Mittel zu reduciren. Ferner ist die Correction für die aus den gleichnamigen Stunden 6 . 6, 7 . 7 u. s. w., aus den Combinationen 7 . 2 . 9, — 6 . 2 . 8 u. s. w. und die aus den täglichen Extremen erhaltenen Resultate beigefügt. Die folgenden Tabellen für Halle und Kremsmünster sind ein Auszug aus jenen Dove'schen; aus ihnen kann man die Einrichtung und den Gebrauch solcher Tabellen ersehen.

Monate.	Halle.								Kremsmünster.							
	Morgens			Nachmittags				Tägliche Extreme.	Morgens			Nachmittags				Tägliche Extreme.
	6	9	12	3	6	7 . 7	7 . 2 . 9		6	9	12	3	6	7 . 7	7 . 2 . 9	
Januar . .	0,72	0,05	— 0,82	— 1,06	— 0,30	0,30	— 0,11	— 0,23	0,88	0,35	— 0,98	— 1,12	— 0,35	0,33	— 0,12	— 0,07
Februar . .	1,30	— 0,08	— 1,29	— 1,86	— 0,59	0,51	— 0,20	— 0,33	1,24	0,67	— 1,37	— 1,99	— 0,57	0,45	— 0,22	— 0,17
März . . .	1,42	— 0,66	— 1,73	— 2,10	— 0,91	0,45	— 0,18	— 0,20	1,82	0,30	— 1,56	— 1,99	— 1,08	0,43	— 0,13	— 0,07
April . . .	1,98	— 0,98	— 2,58	— 3,26	— 1,78	0,51	— 0,34	— 0,16	1,88	0,14	— 1,65	— 2,04	— 1,18	0,37	— 0,12	— 0,02
Mai	1,30	— 1,34	— 2,66	— 3,37	— 2,24	— 0,14	— 0,71	0,37	1,86	— 0,45	— 2,09	— 2,67	— 1,62	0,07	— 0,41	— 0,24
Juni . . .	1,18	— 1,34	— 2,68	— 3,46	— 2,22	— 0,16	— 0,70	0,24	1,54	— 0,86	— 2,17	— 2,62	— 1,66	— 0,18	— 0,52	— 0,31
Juli	1,24	— 1,30	— 2,65	— 3,54	— 2,16	— 0,08	— 0,65	0,14	1,54	— 0,42	— 1,75	— 2,33	— 1,38	0,09	— 0,31	— 0,15
August . .	1,90	— 1,20	— 2,90	— 3,57	— 1,96	0,26	— 0,49	0,00	1,80	— 0,37	— 1,86	— 2,46	— 1,49	0,13	— 0,32	— 0,17
September	1,97	— 1,14	— 2,72	— 3,27	— 1,83	0,43	— 0,35	— 0,09	2,34	0,28	— 1,81	— 2,65	— 1,66	0,38	— 0,23	— 0,14
October . .	1,90	— 0,71	— 2,44	— 2,76	— 1,20	0,61	— 0,29	— 0,30	1,91	0,62	— 1,68	— 2,49	— 1,14	0,48	— 0,28	— 0,19
November	0,92	— 0,31	— 1,35	— 1,52	— 0,40	0,39	— 0,20	— 0,35	0,93	0,51	— 0,97	— 1,28	— 0,41	0,35	— 0,17	— 0,13
December .	0,52	— 0,09	— 0,90	— 0,94	— 0,20	0,28	— 0,10	— 0,25	0,54	0,38	— 0,78	— 0,94	— 0,11	0,29	— 0,16	— 0,07

Dieſelben Correctionselemente, die für irgend einen Ort ermittelt wurden, werden nun aber auch für einen großen Umkreis ohne merkliche Fehler gelten können. Hätte man alſo z B. in Leipzig das Thermometer nur Mittags 12 Uhr beobachtet, und aus den 31 Beobachtungen des Januar das Mittel genommen, ſo hätte man von dieſem Mittel noch die Zahl 0,82 abzuziehen, um das wahre Monatsmittel zu finden. Hätte man in den Stunden 7.2.9 beobachtet und das Mittel aus dreimal 31 Beobachtungen des Juli genommen, ſo würde dieſes ſo erhaltene Mittel noch um 0,65° höher ſein als das wahre Monatsmittel.

Jahresisothermen. Wir haben nun den Weg kennen gelernt, auf 136
welchem man die allgemeinen Monatsmittel und das allgemeine Jahresmittel eines Ortes ermitteln kann. Entſprechende Beobachtungen ſind nun nach und nach an Orten aller Welttheile gemacht und die daraus ſich ergebenden Mittelwerthe in Tabellen zuſammengeſtellt worden. Die vollſtändigſte Tabelle der Art iſt die, welche Dove in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1846 veröffentlicht hat (S. 153). Sie giebt für 900 Stationen die allgemeinen Monatsmittel und das allgemeine Jahresmittel. Wir wollen uns zunächſt mit der Betrachtung der Jahresmittel abgeben.

Die nachfolgende Tabelle, welche der angeführten Dove'ſchen entnommen iſt, enthält das allgemeine Jahresmittel für 164 verſchiedene Orte in Réaumur'ſchen Graden.

Weſtindien.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Antigua	17° 8′	61° 48′ W.	—	21,15
Bermudas	32 20	64 50	—	15,73
Domingo	18 29	70	—	21,91
Havannah	23 9	82	—	20,07
Maracaibo	10 43	71 52	—	23,45
Paramaribo	5 45	55	—	21,47

Mexico und Südamerika.

St. Fe de Bogata	4° 36′	74° 14′ W.	8100′	12,33
Merico	19 26	99 6	6990	12,70
Lima	12 3 S.	77 8	530	18,36
Quito	0 14 S.	78 45	8970	12,49
Rio-Janeiro	22 54 S.	43 16	—	18,56
Falkland-Inſeln	52 0 S.	61	—	6,77

Vereinigte Staaten von Nordamerika und Canada.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Albany	42° 39′	73° 44′ W.	123	7,2
St. Auguſtin	29 50	81 27	—	17,83
Auguſta	33 28	81 54	—	13,29
Baltimore	39 18	76 35	—	9,53
Charlestown	32 47	79 57	—	15,15
Cincinnati	39 6	84 27	—	9,24
Concord	43 12	71 29	—	5,56
Councilbluffs	41 25	95 43	760	8,52
Halifax	44 39	63 38	—	3,56
St. Louis	38 36	89 36	—	10,29
Marietta	39 25	81 30	—	9,08
Natchez	31 34	91 25	—	15,16
New-Orleans	29 58	90 7	—	16,80
New-York	40 43	74 1	—	8,7
Pittsburg	40 32	80 8	—	9,89
Fort Roß	38 34	123 59	—	9,27
Quebec	46 48	71 17	—	4,38
Salem	42 31	70 54	—	7,49
Fort Snelling	44 53	93 8	820	6,09
Fort Vancouver	48 37	122 37	—	8,77
Polarländer.				
Boothia Felix	69° 59′	92° 1′ W.	—	— 12,58
Fort Franklin	65 12	123 13	230	— 6,59
Inſel Melville	74 47	110 48	—	— 13,67
Nain	57 10	61 50	—	— 1,86
Naykiavig	64 8	21 55	—	3,30
Sitcha	57 3	135 18	—	5,97
Fort Simpſon	62 11	121 32	—	— 3,06
Großbritannien.				
Briſtol	51° 27′	2° 36′ W.	—	8,74
Carliſle	54 54	2 58	36	6,66
Dublin	53 21	6 11	—	7,57
Edinburgh	55 58	3 11	220	6,72
Liverpool	53 25	2 59	—	8,36
London	51 30	0 5	—	8,28
Plymouth	50 22	4 7	—	8,92
Thorshavn	62 2	6 46	—	6,03
Weck	58 29	3 5		6,64

Frankreich.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Bordeaux	44° 50′	0° 35′ O.	—	11,13
Dünkirchen	51 5	2 22	—	8,69
Marseille	43 18	5 22	140	11,34
Montpellier	43 36	3 53	100	12,23
Nantes	47 13	1 33	—	10,18
Paris	48 50	2 20	114	8,58
Perpignan	42 42	2 54	160	12,33
Rochelle	46 9	1 10	—	9,34
Straßburg	48 35	7 45	448	7,86
Toulon	43 7	5 55	76	13,46

Niederlande.

Amsterdam	52° 23′	4° 53′ O.	—	7,94
Brüssel	50 51	4 22	—	8,30
Lüttich	50 39	5 32	—	9,19
Rotterdam	51 56	4 29	—	8,45

Schweiz.

Basel	47° 34′	7° 32′ O.	750	7,69
Bern	46 57	7 26	1790	6,21
St. Bernhard	45 50	6 6	7670	— 0,81
Chur	46 50	9 38	1880	7,60
St. Gallen	47 26	10 22	1700	7,33
Genf	46 12	6 10	1250	8,20
St. Gotthard	46 32	8 33	6650	— 0,84
Lausanne	46 31	6 38	1530	7,54
Zürich	47 23,	8 32	1250	7,14

Italien.

Aetna	37° 46′	15° 1′ O.	9210	— 1,08
Bologna	44 30	11 21	270	11,44
Florenz	43 47	11 15	220	12,11
Genua	44 24	8 54	—	13,68
Mailand	45 28	9 11	720	10,30
Messina	38 11	15 34	30	14,98
Neapel	40 52	14 15	—	12,25
Palermo	38 7	13 22	—	15,60
Rom	41 54	12 25	160	12,66
Turin	45 4	7 41	867	9,39
Venedig	45 26	12 21	—	10 41

Deutſchland.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Augsburg	48° 21′	10° 53′ O.	1470	6,60
Berlin	52 30	13 24	100	7,18
Braunſchweig	52 15	10 32	300	7,96
Breslau	51 7	17 2	370	6,64
Brocken	51 48	10 37	3500	0,70
Carlsruhe	49 1	8 25	320	8,30
Coblenz	50 22	7 36	200	8,65
Danzig	54 20	18 41	—	6,06
Dresden	51 3	13 44	360	7,60
Düſſeldorf	51 14	6 47	90	8,78
Frankfurt a. M.	50 10	8 37	333	7,84
Halle	51 30	11 57	340	6,97
Hamburg	53 33	9 58	—	7,13
Heidelberg	49 28	8 42	313	8,65
Insbruck	47 16	11 23	1770	7,46
Königsberg	54 43	20 29	70	4,97
München	48 9	11 36	1573	7,28
Prag	50 5	16 46	583	8,10
Tübingen	48 31	9 3	990	6,57
Wien	48 13	16 23	450	8,46
Würzburg	49 48	9 56	525	8,35

Skandinavien.

Bergen	60° 24′	5° 18′ O.	—	6,57
Chriſtiania	59 55	10 43	75	4,20
Drontheim	63 26	10 25	—	3,59
Kaſtord	69 58	23 34	70	1,35
Kopenhagen	55 41	12 35	—	6,47
Lund	55 42	13 11	60	5,84
Stockholm	59 21	18 4	130	4,52
Tornea	66 24	13 47	—	— 0,42

Rußland.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Archangel	64° 32′	40° 33′ O.	—	0,68
Aſtrachan	46 21	48 8	70	8,02
Barnaul	53 20	83 27	370	— 0,28
Gnenſeiſk	68 30	20 47	1380	— 4,18
Irkutzk	52 17	104 17	1355	0,27
Jakutzk	62 1	129 44	—	— 8,25
Kaſan	55 48	49 7	140	1,53
Moskau	55 45	37 38	380	3,57
Nertſchinsk	51 18	119 20	2100	— 3,17
Petersburg	59 56	30 18	—	3,38
Sebaſtopol	44 36	33 32	—	9,32
Tiflis	41 41	45 17	—	10,11
Uſtſanſk	70 58	138 24	—	— 12 44

Ungarn, Galizien und Küſten des mittelländiſchen Meeres.

Bukareſt	44° 27′	26° 8′ O.	—	6,38
Ofen	47 29	19 3	810	6,88
Conſtantinopel	41 0	29 0	—	10,87
Canea	35 29	24 0	—	14,42
Bagdad	33 21	44 22	—	18,52
Algier	36 47	0 33	—	14,34
Tunis	36 48	10 11	—	16,34
Barcelona	41 23	2 12	—	13,79
Gibraltar	36 7	5 21 W.	—	15,75
Liſſabon	38 42	9 9 W.	—	13,07
Madrid	40 25	3 41 O.	1940	11,63
Cairo	30 2	29 48	—	17,84

Tropiſches Afrika.

Funchal	32° 38′	16° 56′ W.	80	15,83
Guinea	5 30	0 0	—	21,95
St. Helena	15 55 S.	5 43 W.	1660	13,07
Capſtadt	33 56 S.	18 28 O.	—	15,32
Kenka	13 10	14 30	—	22,95
Souillac, Mauritius	—	—	—	21,08
Abuſcheher	28 15	50 54	—	20,03

Oſtindien und China.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Ava	21° 58′	96° 5′ O.	—	20,61
Batavia	6 9 S.	106 53	—	20,59
Benares	25 18	82 56	300	21,45
Bombay	18 56	72 54	—	21,89
Calcutta	22 38	88 20	80	22,40
Canton	23 8	113 16	—	16,83
Colombo	6 57	80 0	—	21,67
Darjiling	27 7	88 21	6960	10,97
Macao	22 11	113 34	—	17,86
Madras	13 4	80 19	—	22,20
Manilla	14 36	129 0	—	20,63
Maſtorea	30 27	78 2	6100	10,99
Peking	39 54	116 26	—	10,13
Seringapatam	12 45	76 51	2270	19,45
Singapore	1 17	103 50	—	21,63
Trevandrum	8 31	77 0	—	21,09

Auſtralien.

Adelaide	34° 35′ S	138° 45′	—	16,20
Albany	35 2 S.	117 55	—	12,47
Fort Dundas	11 25 S.	132 25	—	21,61
Haborttown	42 53 S.	147 28	—	9,07
Paramatta	33 49 S.	151 1	—	14,36

Aus dieſer Tabelle erſieht man zunächſt, daß Orte von gleicher geographiſcher Breite keineswegs auch gleiche mittlere Jahreswärme haben. Vergleichen wir in dieſer Beziehung nur Nordamerika mit Europa, ſo tritt ein auffallender Unterſchied hervor. New-York liegt noch etwas ſüdlicher als Rom, und doch iſt ſeine mittlere Jahreswärme um 4° R. geringer; die Stadt Bergen in Norwegen hat noch eine mittlere Jahreswärme von 6,57°, während zu Nain auf der Küſte Labrador (57° 10′ n. Br.), einem um drei Breitegrade ſüdlicher gelegenen Orte, die mittlere Jahreswärme nur — 1,86° beträgt. Bei gleicher geographiſcher Breite iſt es in Nordamerika alſo ſtets kälter als in Europa. Ein ähnliches Verhältniß ſtellt ſich bei der Vergleichung von Europa mit dem nördlichen Aſien heraus.

Eine klare Ueberſicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerſt Humboldt durch ſeine iſothermiſchen Linien möglich gemacht, durch

welche er auf einer Erdkarte alle Orte derſelben Hemiſphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben. Seine Abhandlung über die Iſothermen und die Vertheilung der Wärme auf der Erde erſchien im Jahre 1817 im dritten Bande der »Mémoires de la société d'Arcueil«.

Humboldt's Abhandlung enthält eine Tabelle, welche die mittlere Jahreswärme für 60 verſchiedene Orte angiebt, und nach dieſen legte er ſeine Iſothermen. Seit jener Zeit aber ſind durch zahlreiche Beobachtungen die klimatiſchen Verhältniſſe vieler Orte genauer ermittelt worden, ohne daß dadurch der Typus der großen Krümmungen der Iſothermen, wie ſie von Humboldt beſtimmt worden waren, eine weſentliche Aenderung erfahren hätte.

Die neueſte Iſothermenkarte iſt die von Dove entworfene, bei deren Anfertigung die bereits erwähnte Tabelle zu Grunde gelegt wurde, welche die mittlere Jahreswärme für 900 verſchiedene Orte enthält. Die Karte Tab. XVI iſt eine Copie der Dove'ſchen.

In dieſer Karte ſind die Iſothermen von vier zu vier Grad Réaumur gezogen und jeder Linie iſt die entſprechende Gradzahl beigeſchrieben.

Der Gürtel der Erde, deſſen mittlere Jahrestemperatur mehr als 20° R. beträgt, iſt roth angelegt, während die Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter 0° iſt, durch blaue Färbung unterſchieden ſind.

Tab. XVII zeigt die Jahresiſothermen auf der nördlichen Erdkugel bis zum 30. Grad nördlicher Breite in Polarprojection.

Monatsisothermen. Wenn man die mittlere Jahrestemperatur eines 137
Ortes kennt, ſo genügt dies noch keineswegs, um ein richtiges Bild von den klimatiſchen Verhältniſſen deſſelben zu geben; denn bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur kann der Gang der Wärme im Laufe eines Jahres, die Vertheilung der Wärme auf die einzelnen Jahreszeiten eine ſehr verſchiedene ſein. So haben z. B., wie man aus obiger Tabelle ſieht, Edinburgh und Tübingen faſt gleiche mittlere Jahreswärme (6,72° und 6,57° R.), in Edinburgh aber iſt die mittlere Temperatur des Winters + 2,9°, in Tübingen hingegen nur 0,16°. Tübingen hat alſo einen weit kälteren Winter als Edinburgh, dagegen iſt die mittlere Sommertemperatur für Tübingen 13,7°, für Edinburgh nur 11,3°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat alſo Edinburgh einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen.

Um die Wärmeverhältniſſe eines Landes zu kennen, muß man außer der mittleren Jahrestemperatur auch noch wiſſen, wie ſich die Wärme auf die verſchiedenen Jahreszeiten vertheilt. Dieſe Vertheilung kann man auf einer Iſothermenkarte nach Humboldt's Beiſpiel dadurch andeuten, daß man an den verſchiedenen Stellen einer und derſelben Iſotherme die mittlere Sommertemperatur des entſprechenden Ortes über, die entſprechende Wintertemperatur aber unter die Curve ſetzt.

Eine ſehr gute Ueberſicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwiſchen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur haben, und

dann wieder diejenigen, für welche die mittlere Sommertemperatur gleich iſt. Die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Iſotheren, die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Iſochimenen. Fig. 200 ſtellt ein Kärtchen von Europa mit den Iſotheren und Iſochimenen von 4 zu 4 Grad dar.

Fig. 200.

Die ausgezogenen Curven ſind die Iſochimenen, die punktirten ſind die Iſotheren. Man ſieht aus dieſer Karte leicht, daß die Weſtküſte des ſüdlichen Theils von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen und Ungarn, Siebenbürgen, Beßarabien und die Südſpitze der Halbinſel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber gleichen Sommer mit dem Ausfluß der Garonne, und in der Krim iſt der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat eine gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 4°, mit Nantes, Oberitalien und Conſtantinopel, und gleiche Sommerwärme von 12° mit Drontheim und Finnland.

Die Iſothere von 16° geht vom Ausfluß der Garonne ungefähr über Straßburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Doniſchen Koſaken, und geht etwas nördlich vom Kaſpiſchen Meere vorbei; wie ungleich aber iſt die mittlere Wintertemperatur an verſchiedenen Orten dieſer Iſothere! An der Weſtküſte von Frankreich iſt ſie 4°, in Böhmen 0°, in der Ukraine — 4° und etwas nördlich vom Kaſpiſchen Meere gar — 8°.

Eine noch weit vollſtändigere Ueberſicht über den Gang der Temperatur an irgend einem Orte erhält man, wenn aus möglichſt vieljährigen Beobachtungen die allgemeine Mitteltemperatur für jeden einzelnen Monat beſtimmt

wird. Dove hat nun mit Benutzung alles ihm zugänglichen Beobachtungsmaterials eine Tabelle zusammengestellt, welche die allgemeinen Monatsmittel für 900 Orte enthält und hat nach dieser Tabelle Isothermenkarten für jeden einzelnen Monat des Jahres construirt. Die Tabelle auf Seite 326 bis 329 ist ein Auszug aus der Dove'schen, und in den Karten Tab. XVIII und Tab. XIX sind die Monatsisothermen für die Monate Januar und Juli eingetragen.

Aus denselben Gründen, aus welchen die Mittagsstunde nicht die heißeste Stunde des Tages ist, sondern die höchste Temperatur im Laufe eines Tages erst einige Stunden nach der Culmination der Sonne stattfindet, erreicht auch die Sommerwärme im Durchschnitt erst nach dem Sommersolstitium ihr Maximum, und so ist denn, wo nicht locale Ursachen eine Störung veranlassen, in der ganzen nördlichen gemäßigten Zone der Juli der heißeste Monat, wovon man sich in der folgenden Tabelle überzeugen kann; ebenso folgt die größte Winterkälte erst nach dem Wintersolstitium, und im Durchschnitt ist auch auf der nördlichen Halbkugel der Januar der kälteste Monat.

Wenn nun aber, wie es doch natürlich erscheint, der heißeste Monat die Mitte des Sommers, der kälteste die Mitte des Winters bilden soll, so ist klar, daß die meteorologische Eintheilung der Jahreszeiten von der astronomischen, bei welcher die Jahreszeiten durch die Solstitien und Aequinoctien abgetheilt werden, abweichen muß. In der That sind nach meteorologischem Sinne die Jahreszeiten der nördlichen gemäßigten Zone in folgender Weise zusammengesetzt. Den Winter bilden: December, Januar und Februar; den Frühling: März, April und Mai; den Sommer: Juni, Juli und August; den Herbst endlich September, October und November.

Tafel der mittleren Monatstemperaturen

	Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
Antigua	20,20	19,80	19 84	20,38	21,35
Bermudas	11,04	11,92	12,16	13,68	16,48
Havannah	17,50	18,68	18,70	19,83	20,43
Paramaribo	20,5	20,4	20,9	21,0	21.3
Domingo	23,6	23,1	23,6	24,0	23,0
Merico	9,11	10,83	12,95	13,77	15,18
Quilo	11,66	12,88	12,46	12,38	12,72
Falklands-Inſeln	10,66	9,77	8,72	7,40	6,51
Rio Janeiro	21,4	21,3	20,4	19,3	17,2
Albany	— 3,58	— 3,08	1,28	7,04	12,33
St. Auguſtin	12,77	14,65	15,80	16,92	19,95
Council Bluffs	— 4,17	— 2,40	2,41	8,81	15,36
Halifax	— 5,3	— 6,2	— 3,1	0,9	3,5
Concord	— 4,80	— 4,51	— 0,57	4,62	10,14
Marietta	0,01	0,90	4,86	9,41	13,28
New-Orleans	11,00	11,73	15,37	17,96	20,12
New-York	— 3,4	— 0,2	3,9	9,3	13,5
Fort Reß	7,05	6,96	7,46	8,43	9,64
Quebec	— 7,15	— 8,60	— 4,15	3,41	10,15
Fort Vancouver	2,66	4,88	5,33	6,22	9,77
Berthia Felix	— 27,0	— 28,4	— 27,0	— 15,4	— 7,3
Fort Franklin	— 24,1	— 21,7	— 16,6	— 8,7	1,4
Melville-Inſeln	— 28,12	— 28,64	— 22,31	— 17,87	— 6,75
Nain	— 13,80	— 12,66	— 10,88	— 0,90	1,88
Raykiavig	— 0,97	— 1,64	— 0,95	1,98	5,69
Sitcha	1,02	0,71	2,67	3,84	7,19
Dublin	2,88	3,98	4,64	6,66	8,98
Edinburgh	2,39	2,76	3,79	5,41	8,15
London	2,22	3,78	4,44	7,11	10,22
Bordeaux	4,0	5,8	8,6	10,7	12,8
Montpellier	4,5	5,7	7,5	11,3	14,4
Paris	1,53	3,35	5,33	7,9	11,59
Amſterdam	0,53	2,14	3,88	7,17	10,53
Brüſſel	1,46	3,27	1,79	6,79	11,14
Baſel	— 0,74	1,10	4,16	7,51	11,46
St. Bernhard	— 6,94	— 6,14	— 4,51	— 2,09	1,79
Chur	— 1,18	1,52	1,61	6,94	12,57
Mailand	0,54	2,80	6,17	10,07	14,26
Neapel	6,52	6,82	8,01	10,31	13,85
Palermo	8,63	8,59	9,78	11,71	14,58
Rom	5,79	6,82	8,74	11,47	14,78

verschiedener Orte in Réaumur'schen Graden.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	October	November.	December.	Differenz.
21,53	21,75	22,17	22,00	21,71	22,15	20,93	2,37
18,32	19,44	19,84	19,92	18,24	15,04	12,72	8,40
21,78	21,98	22,03	21,50	20,82	19,17	18,46	4,53
21,1	21,3	22,2	22,9	22,8	22,0	21,2	2,4
22,2	20,7	20,0	20,7	20,7	20,3	20,7	4,0
14,84	14,82	14,64	14,36	12,54	10,60	8,91	6,27
12,00	12,08	13,06	12,04	12,42	12,28	12,68	1,40
16,3	15,6	16,9	17,1	18,1	18,8	20,1	5,7
5,11	2,40	2,95	6,11	6,89	6,70	7,91	8,26
16,02	17,80	16,86	13,06	7,64	2,70	— 1,65	21,38
21,96	22,58	22,52	21,40	18,59	14,02	12,85	9,81
18,66	20,17	19,60	14,77	9,62	2,91	— 3,46	24,34
8,0	13,8	16,9	8,4	8,4	2,7	— 3,1	23,1
13,98	15,59	14,94	10,88	7,28	2,24	— 3,10	20,39
16,56	18,12	17,32	14,01	8,79	4,52	1,22	18,11
22,12	22,32	22,28	21,08	16,76	11,87	9,00	13,32
15,9	18,3	17,7	14,4	9,3	4,5	1,0	21,7
10,78	11,52	11,65	11,11	10,06	8,82	7,73	4,69
14,20	18,10	15,50	13,50	4,80	0,50	— 8,05	26,45
13,77	15,11	15,11	12,88	9,77	4,88	4,88	12,45
1,0	4,1	3,0	— 2,9	— 10,2	— 16,6	— 24,2	31,1
7,1	8,9	8,2	4,0	— 4,2	— 14,3	— 19,1	33,6
1,87	4,64	0,26	— 4,21	— 15,48	— 23,62	— 23,83	33,28
4,68	8,08	8,44	5,77	0,88	— 2,44	— 11,33	22,24
8 70	10,75	9,27	6,42	2,18	— 0,69	— 1,15	12,39
9,70	11,16	11,46	10,65	6,50	4,81	1,92	10,45
11,26	12,76	12,74	10,56	8,00	4,93	3,57	9,88
10,68	11,86	11,22	9,53	7,46	4,19	3,44	9,47
12,89	14,00	14,02	12,00	8,66	6,00	3,78	12,00
15,5	18,3	18,3	15,6	11,6	7,3	5,0	14,3
18,0	20,6	20,0	17,0	13,3	8,3	6,1	16,10
13,66	14,96	14,82	12,52	9,0	5,41	2,92	13,43
13,56	14,82	14,80	12,72	8,51	4,41	2,17	14,29
13,91	14,39	14,41	12,13	8,78	5,22	2,28	12,95
13,86	15,09	14,72	11,75	8,05	3,07	1,57	15,83
3,89	5,44	5,38	3,02	— 0,41	— 3,63	— 5,66	12,38
13,18	15,00	14,18	12,05	8,17	4,28	— 0,10	16,18
17,19	19,00	18,48	15,32	11,09	6,70	2,03	18,46
17,23	19,04	18,58	16,34	13,16	9,68	7,45	12,52
17,40	19,43	19,71	18,06	15,56	12,18	10,10	11,12
17,38	19,54	19,40	16,92	14,58	9,50	7,02	13,75

Tafel der mittleren Monatstemperaturen

	Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
Berlin	— 1,90	— 0,15	2,74	6,88	10,92
Breslau	— 1,8	— 1,3	1,3	6,1	10,9
Carlsruhe	— 0,14	1,97	4,57	8,36	12,41
Danzig	— 2,02	— 0,54	1,44	5,07	8,92
Dresden	— 1,25	0,58	3,52	7,82	11,70
Düſſeldorf	1,4	3,1	5,4	8,9	12,5
Frankfurt a. M.	— 0,24	2,08	1,24	7,60	11,44
München	— 1,07	0,45	1,08	6,63	11,38
Prag	— 1,95	— 0,27	3,94	9,16	12,66
Tübingen	— 1,44	0,46	3,28	6,96	10,48
Wien	— 1,21	0,68	3,91	8,82	13,40
Bergen	1,34	2,06	2,48	5,48	8,59
Stockholm	— 3,42	— 2,37	— 1,07	2,12	7,23
Torneo	— 12,71	— 11,03	— 7,31	— 2,26	4,01
Archangel	— 11,3	— 10,2	— 4,49	— 0,27	4,30
Aſtrachan	— 8,60	— 4,92	1,70	9,09	16,74
Barnaul	— 16,7	— 12,3	— 10,1	0,6	8,3
Irkutzk	— 15,69	— 12,10	— 5,32	1,86	7,85
Jakutzk	— 34,43	— 27,05	— 17,08	— 6,95	2,18
Moskau	— 8,19	— 7,11	— 2,33	4,32	9,98
Petersburg	— 8,4	— 7,4	— 5,6	1,2	5,7
Sebaſtopol	1,0	2,0	4,6	8,1	13,1
Tiflis	— 0,05	0,84	4,62	9,11	14,46
Uſtjensk	— 31,8	— 28,1	— 16,0	— 11,2	— 1,8
Algier	9,32	10,14	10,66	12,02	15,26
Gibraltar	11,56	11,39	13,87	15,11	16,69
Cairo	11,60	10,72	14,48	20,40	20,56
Bukareſt	— 3,56	— 5,20	— 0,12	5,48	10,81
Funchal	14,00	13,84	14,32	14,40	14,56
St. Helena	14,21	15,06	15,22	14,94	13,80
Capſtadt	18,83	19,54	18,11	15,60	13,39
Kouka	19,44	22,72	25,28	26,80	26,20
Batavia	20,44	20,88	21,10	20,88	21,33
Calcutta	16,57	19,16	22,89	25,29	25,95
Peking	— 2,98	— 2,40	4,27	11,12	17,63
Singapore	20,65	21,16	21,51	21,80	22,10
Fort Dundas	22,69	22,72	22,64	22,40	21,60
Haborltown	13,84	13,84	10,40	9,52	6,08
Adelaide	23,31	21,00	20,75	14,86	13,06

verschiedener Orte in Réaumur'schen Graden.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	October.	November.	December.	Differenz.
13,94	15,04	14,43	11,75	7,97	3,25	1,32	16,94
13,8	14,8	14,5	11,8	7,4	2,7	— 0,5	16,6
14,45	15,83	15,41	12,56	8,33	4,21	1,58	15,97
12,12	14,04	13,73	10,70	6,69	2,69	— 0,09	16,06
14,74	15,77	14,82	11,67	8,02	3,01	0,75	17,02
14,5	15,3	14,9	12,6	8,9	5,3	2,2	13,9
14,00	15,14	14,99	12,18	7,66	3,98	1,00	15,38
13,38	14,55	14,26	11,63	7,65	3,12	1,29	15,62
15,09	16,72	16,25	13,25	8,13	3,52	0,68	18,67
12,72	14,24	13,84	11,20	7,04	1,44	— 1,12	15,68
15,77	17,22	16,87	13,29	8,54	3,71	0,46	18,13
10,91	12,62	11,94	9,94	7,13	3,95	2,55	11,28
11,13	13,98	12,80	9,62	5,42	1,50	— 2,15	17,40
10,58	13,06	10,88	6,31	0,17	— 0,38	— 10,38	25,77
10,30	12,81	11,37	6,94	1,43	— 4,17	— 8,66	24,11
18,32	19,98	20,29	16,11	8,06	3,05	— 3,58	28,89
13,3	15,8	12,6	6,9	0,7	— 8,2	— 14,1	32,5
12,66	11,60	12,07	6,89	0,85	— 6,71	— 13,68	30,29
11,68	16,35	11,60	5,38	— 6,85	— 24,18	— 29,68	50,78
13,50	15,29	13,83	9,42	3,33	— 2,16	— 7,10	23,18
11,5	14,1	12,8	7,8	2,6	— 3,7	— 5,8	22,5
16,9	17,4	17,1	13,9	9,7	5,4	2,2	16,4
17,96	20,57	19,99	15,13	11,04	5,52	2,11	20,62
6,9	11,8	5,6	— 6,1	— 22,5	— 25,4	— 30,7	43,6
17,56	19,22	19,77	18,30	16,22	13,30	10,29	10,45
19,17	21,09	20,84	18,59	15,72	13,37	11,63	9,70
22,96	23,92	23,92	20,96	17,92	13,76	13,04	13,20
13,58	16,07	14,74	11,69	7,71	4,82	0,18	19,63
16,32	18,00	18,48	18,64	17,36	15,84	14,16	4,80
12,47	11,56	11,19	11,14	11,66	12,38	13,23	4,08
11,50	11,37	12,70	13,29	14,64	16,95	17,94	8,17
25,60	22,96	21,52	22,80	23,68	21,20	17,72	9,08
20,22	20,44	20,88	20,88	20,00	19,11	20,88	2,22
25,18	23,95	23,82	24,02	23,29	20,77	17,94	9,38
21,71	22,05	21,74	16,51	10,47	3,11	— 1,71	25,03
22,02	22,38	21,82	21,79	21,81	21,47	20,85	1,65
20,16	17,84	19,60	20,80	22,24	22,96	23,44	5,60
3,84	3,60	6,00	6,72	9,84	11,36	13,76	10,24
11,66	9,89	11,62	12,58	16,06	18,00	22,22	13,42

138 **Thermiſche Isanomalen.** Ein Blick auf die Karte der Jahresiſothermen belehrt uns, wie ungleich die mittlere Jahreswärme an verſchiedenen Orten deſſelben Breitengrades iſt. Auf dem 60. Breitengrade z. B. iſt die mittlere Jahrestemperatur auf dem Meere zwiſchen Aſien und Amerika gleich 0°, an der Weſtküſte der Hudſonsbay iſt ſie ungefähr — 6°, in der Nähe der Südſpitze von Grönland wieder 0°; auf dem Meere nördlich von Schottland + 6°; in Petersburg etwas über + 3,4°, auf dem Ural 0° und im Inneren von Aſien wieder — 7° R.

Ermittelt man mit Hülfe der Iſothermenkarte durch Interpolation die mittlere Wärme für die auf demſelben Breitengrade liegenden Punkte, deren Länge 10°, 20° u. ſ. w. bis 360° iſt, ſo erhält man die mittlere Wärme für 36 gleichweit von einander abſtehende Punkte deſſelben Parallelkreiſes. Nimmt man aus den 36 ſo erhaltenen Werthen das Mittel, ſo erhält man eine Zahl, welche Dove die normale Temperatur des Parallels nennt. Nach Dove's Beſtimmungen ſind Folgendes die Werthe der normalen mittleren Jahrestemperatur für die einzelnen Parallelkreiſe:

90° nördl. Breite . .	— 13,2° R.	20° nördl. Breite . .	— 20,2° R.
80 » » . .	— 11,2	10 » » . .	21,3
70 » » . .	— 7,1	0 » » . .	21,2
65 » » . .	— 4,2	— 10 ſüdl. Breite . .	20,4
60 » » . .	— 0,8	20 » » . . .	18,7
50 » » . .	4,3	30 » » . . .	15,5
40 » » . .	10,9	40 » » . . .	10,0
30 » » . .	16,8		

Mit Hülfe dieſer Tabelle kann man nun leicht ſehen, ob und wieviel die mittlere Jahreswärme eines Ortes höher oder tiefer iſt als die normale mittlere Jahrestemperatur des Parallels. So iſt z. B. die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg, welches ungefähr unter dem 60. Breitengrade liegt, 3,4°, alſo um 4,2° höher als die Normaltemperatur des Parallels oder, um es kurz auszudrücken, die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg iſt um 4,2° zu hoch. In gleichem Sinne iſt dagegen die mittlere Jahrestemperatur von Nertſchinsk, — 3,2°, ungefähr um 6,8° zu niedrig, da die normale mittlere Jahreswärme für den Parallel von 51° 15′, unter welchem Nertſchinsk liegt, wie ſich durch Interpolation aus obiger Tabelle ermitteln läßt, + 3,6° beträgt.

Dieſe Differenz zwiſchen der mittleren Temperatur eines Ortes und der Normaltemperatur ſeines Parallels nennt Dove die thermiſche Anomalie. Mit dem Namen der thermiſchen Iſanomalen bezeichnet er dagegen ſolche auf einer Karte gezogenen Curven, welche eine Reihe von Orten mit einander verbinden, denen eine gleiche thermiſche Anomalie zukommt. In der Karte Tab. XX ſind die thermiſchen Iſanomalen des Jahres eingetragen. Um die Ueberſicht zu erleichtern, ſind die Gegenden, in welchen die mittlere Jahreswärme zu hoch iſt, weiß gelaſſen, diejenigen, in welchen ſie zu niedrig iſt, dagegen blau angelegt.

So überſieht man denn hier mit einem Blicke, daß die mittlere Jahreswärme von ganz Europa, Kleinaſien, Arabien, Perſien, Oſtindien und dem größten Theile von Afrika und Auſtralien höher iſt als die Normaltemperatur des Jahres für die entſprechenden Parallelkreiſe; dagegen hat in gleicher Weiſe der ganze aſiatiſche Continent bis auf die eben genannten ſüdweſtlichen Theile, und der Continent von Nordamerika bis auf die nordweſtlichen Küſten und Florida eine zu geringe mittlere Jahreswärme.

Auf dieſer Karte ſehen wir aber auch, wie groß die thermiſche Anomalie eines jeden Ortes iſt; wir ſehen zum Beiſpiel, daß in der Mitte von Spanien, Sicilien und Moskau die mittlere Jahreswärme um 2°, in Island, dem nördlichen Schottland, in der Umgegend von Drontheim um 6° zu hoch iſt. Dagegen läuft eine thermiſche Iſanomale von — 2° ſüdweſtlich von Fort Snelling vorbei, in der Nähe von Waſhington und Boſton vorüber nach Neu-Foundland u. ſ. w.; zu Waſhington und Boſton iſt alſo die mittlere Jahrestemperatur um 2° zu niedrig.

In derſelben Weiſe, wie die Curven der Karte Tab. XX aus den Jahresiſothermen abgeleitet worden ſind, hat Dove auch die Monatsiſothermen benutzt, um die thermiſchen Iſanomalen für jeden einzelnen Monat zu conſtruiren. Tab. XXI und Tab. XXII enthalten die thermiſchen Iſanomalen der Monate Januar und Juli.

Aus dem Laufe der thermiſchen Iſanomalen des Januar erſehen wir, daß die mittlere Temperatur dieſes Monats an den nordweſtlichen Küſten von Nordamerika und namentlich an den weſtlichen Küſten von Europa viel zu hoch iſt; daß dagegen dieſer Monat im Inneren und an den Oſtküſten von Nordamerika, ſowie auf dem aſiatiſchen Continent, und namentlich in Sibirien, viel zu kalt iſt. In London iſt die mittlere Temperatur des Januar um 8°, in Drontheim iſt ſie um 12° zu hoch; dagegen iſt ſie am unteren Ende des Oberen Sees in Nordamerika 6°, zu Jakutzk in Sibirien 17° niedriger als die Normaltemperatur der entſprechenden Parallelkreiſe für den genannten Monat.

Anders geſtalten ſich die Verhältniſſe im Juli; in dieſem Monate zeigt ſich in Sibirien ein größerer, in Europa nur ein unbedeutender Ueberſchuß über die Normaltemperatur der entſprechenden Parallelkreiſe, während an den Oſtküſten von Nordamerika auch dieſer Monat zu kalt bleibt.

Land- und Seeklima. Die ungleiche Vertheilung von Land und 139
Waſſer auf unſerer Erdoberfläche veranlaßt eine ungleiche Erwärmung an verſchiedenen Stellen, ſie bedingt großentheils die Richtung der Luft- und Meerſtrömungen, durch welche entweder die höhere Temperatur der Tropen nach den Polen hin, oder umgekehrt die Kälte der Polarmeere dem Aequator genähert wird; die Wirkung, welche die Sonnenſtrahlen an irgend einem Orte der Erde hervorzubringen im Stande ſind, hängt von der Configuration des Landes, von der Beſchaffenheit des Bodens ab, ſie wird durch die Richtung der herrſchenden Winde, durch Gebirgszüge modificirt; die klimatiſchen Verhältniſſe einer Gegend ſind alſo das Reſultat mannigfacher Urſachen, welche ſich theils combiniren,

theils gegenſeitig modificiren, und welche bald mehr allgemeiner, bald mehr localer Natur ſind, welche bald direct, bald indirect wirken. »Die phyſiſche Geographie,« ſagt Humboldt, »hat ihre numeriſchen Elemente wie das Weltſyſtem, und wir werden in der Kenntniß dieſer Elemente in dem Maße fortſchreiten, als wir die Thatſachen beſſer benutzen lernen, um in ihnen die allgemeinen Geſetze mitten in dem Zuſammenwirken der partiellen Störungen zu erkennen.«

Ganz abgeſehen davon, daß die ungleiche Vertheilung von Land und Waſſer auf unſerer Erdoberfläche die Richtung der Luft- und Meerſtrömungen modificirt, bewirkt ſie auch direct eine ungleiche Wärmevertheilung, weil das feſte Land, die Wärmeſtrahlen leichter abſorbirend und ausſtrahlend, ſich ſchneller erwärmt und leichter wieder erkaltet als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen ſeiner Durchſichtigkeit und wegen der bedeutenden ſpecifiſchen Wärme des Waſſers nicht ſo ſchnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht ſo ſchnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche iſt deshalb weit gleichförmiger, ſowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturſchwankungen ſind hier ungleich geringer als in der Mitte der großen Continente, und dadurch iſt gerade der ſchon oben erwähnte Unterſchied zwiſchen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch größer wird, daß an den Küſten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meiſtens bedeckt iſt, was ſowohl den wärmenden Einfluß der Sonnenſtrahlen im Sommer mäßigt, als auch die ſtarke Erkaltung des Bodens durch Wärmeſtrahlung im Winter hindert.

Inſeln, welche mitten in einem großen Meere liegen, Küſten und namentlich Halbinſeln werden das weniger veränderliche Seeklima theilen, während die Unterſchiede zwiſchen Sommer- und Wintertemperatur um ſo größer ſind, je weiter man ſich von den Küſten entfernt. Schon in vorigem Paragraph wurden Beiſpiele angeführt, welche zeigen, wie bei gleicher mittlerer Jahreswärme die Vertheilung der Wärme auf die verſchiedenen Jahreszeiten oft ſehr ungleich iſt; wie an Orten, welche ein Küſtenklima haben, die Temperaturſchwankungen weit geringer ſind als für ſolche Orte, welche mitten im Lande liegen.

So iſt bereits angeführt worden, daß Edinburgh bei gleicher mittlerer Jahreswärme doch milderen Winter und kühleren Sommer hat als Tübingen. Die Differenz der mittleren Temperatur des heißeſten und kälteſten Monats beträgt für Edinburgh nur 9,5°, für Tübingen aber 15,7°.

Die Tabellen auf Seite 326 bis 329 liefern Material genug, um den Unterſchied zwiſchen Land- und Seeklima nachzuweiſen; die folgende kleine Tabelle enthält die Zuſammenſtellung einiger beſonders charakteriſtiſcher, obiger Tabelle entnommener Beiſpiele:

	Mittlere Temperatur des			Differenz.
	Jahres.	Januar.	Juli.	
Sitcha	5,97	1,02	11,16	10,04
Reykiavig	3,30	— 0,97	10,75	11,72
Bergen	6,57	1,34	12,62	11,28
Dublin	7,57	2,88	12,76	9,88
Moskau	3,57	— 8,19	15,29	23,48
Astrachan	8,02	— 8,60	19,98	28,89
Irkutzk	0,27	— 15,69	14,60	30,29
Jakutzk	— 8,25	— 34,43	16,35	50,78

Das Seeklima, welchem die vier erstgenannten Orte angehören, ist besonders durch kühle Sommer und gelinde Winter charakterisirt, so daß die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heißesten und des kältesten Monats nicht sehr groß ist. Am entschiedensten tritt dieser Charakter des Seeklimas an den nordwestlichen Küsten von Amerika auf, wie man aus den Karten Tab. XXI und XXII am leichtesten übersehen kann. Der Juli ist hier zu kühl, der Januar viel zu warm.

Das Continentalklima, welchem die vier zuletzt genannten Orte angehören, ist dagegen durch heiße Sommer und kalte Winter ausgezeichnet, daher der Unterschied zwischen der Temperatur des Januar und des Juli hier sehr groß ist, wie dies namentlich die Temperaturverhältnisse von Sibirien zeigen. Auch dies zeigen die Karten Tab. XXI und XXII auf den ersten Blick, indem Sibirien auf der Januarkarte blau, auf der Julikarte weiß, also in beiden Fällen gerade entgegengesetzt angelegt ist, wie die Nordwestküste von Nordamerika.

Aus den Karten Tab. XXI und XXII ersehen wir weiter, daß Europa fast normalen Sommer hat; die mittlere Temperatur des Juli ist nur wenig zu hoch, und dieser Ueberschuß wächst von Westen nach Osten hin, dagegen fallen die Westküsten Europas im Winter entschieden dem Seeklima anheim, indem hier die mittlere Januartemperatur weit höher ist als die Normaltemperatur dieses Monats für die entsprechenden Breitengrade.

Europa ist also unter allen Ländern gleicher geographischer Breite hinsichtlich seiner Wärmeverhältnisse in jeder Beziehung am meisten begünstigt, da es warme Sommer und gelinde Winter hat. Den Gegensatz zu diesem Verhältniß bildet Nordamerika, welches, den schmalen, bereits erwähnten Küstenstrich abgerechnet, im Sommer dem Küstenklima und im Winter dem Continentalklima anheimfällt, also bei sehr kalten Wintern verhältnißmäßig kühle Sommer hat.

Welchen Einfluß solche klimatischen Verschiedenheiten auf die Vegetation

ausüben müſſen, iſt klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakutzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 8,25° iſt, die mittlere Januartemperatur aber — 34,43° beträgt, wird während des kurzen, aber heißen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuß beſtändig gefroren bleibt; dagegen iſt auf der Inſel Island bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, ſie zur Reife zu bringen.

Im nordöſtlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe ſo kräftig wie in Portugal, auf den Küſten von Devonſhire überwintert die Camellia japonica und die Fuchsia coccinea im Freien; der Winter iſt in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich ſtarke Winterkälte vertragen kann, aber eines heißen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern ſollen. In Aſtrachan, welches mit dem Nordcap gleiche Winterkälte hat, reifen die herrlichſten Trauben. Ungarn bringt ausgezeichneten Wein hervor, obgleich ſeine Winter kälter ſind als im nördlichſten Schottland, wo kein Obſtbaum mehr gedeiht, ja ſelbſt kälter als auf den Faröerinſeln, wo auch die Buche und die Eiche nicht mehr fortkommt.

Ueberall, wo die mittlere Jahreswärme unter 17° iſt, findet das Erwachen der Natur im Frühlinge in demjenigen Monate Statt, deſſen mittlere Temperatur 6 bis 8° beträgt. Der Pfirſichbaum blüht, wenn die mittlere Temperatur eines Monats 5,5°, der Pflaumenbaum, wenn ſie 8,2° erreicht. Die Birke ſchlägt bei einer mittleren Monatstemperatur von 11° aus; in Rom findet dies im März, in Paris Anfangs Mai, in Upſala in der Mitte Juni Statt, auf dem Nordcap kommt die Birke nicht mehr fort, weil die mittlere Temperatur des heißeſten Monats nur 8,1° beträgt.

140 **Urſachen der Krümmung der Isothermen.** Bereits im Eingange des vorigen Paragraphen iſt erwähnt worden, daß die Luft- und Meeresſtrömungen einen weſentlichen Einfluß auf die klimatiſchen Verhältniſſe der Länder ausüben, und ſie ſind es auch vorzugsweiſe, welche die Krümmung der Iſothermen bedingen.

In der nördlichen gemäßigten Zone ſind die Südweſt- und die Nordoſtwinde die vorherrſchenden. Der Südweſtwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieſer erwärmende Einfluß der Südweſtwinde wird aber in ſolchen Ländern vorzugsweiſe merklich werden, welche der ſüdweſtlichen Luftſtrömung am meiſten ausgeſetzt ſind, und ſomit erklärt ſich, daß die Weſtküſten der großen Continente wärmer ſind als die Oſtküſten, daß die Iſothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinſelförmige Verlängerung des aſiatiſchen Continents iſt, und an den Weſtküſten von Nordamerika weiter nach Norden ſteigen als im Inneren von Aſien und an den Oſtküſten von Nordamerika.

Ferner trägt eine unter dem Namen des Golfstroms bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stromes ist im mexicanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 24 bis 25° erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexicanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hin zu wenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Südwestwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, daß man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heißen Zone Amerikas wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 7° sinkt. Unter dem Einflusse dieses Golfstromes ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareises nicht die europäischen Küsten. Sabine fand zwischen dem 65. und 70. Breitengrade die mittlere Temperatur des atlantischen Oceans an der Oberfläche 4,5°, während bei gleicher Breite die mittlere Temperatur des europäischen Continents schon unter dem Gefrierpunkte ist.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im Süden von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden Ländermassen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heiße Zone hinein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrikanischen Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Asien zuführen könnten, werden aber noch durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht wird, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergränze des Polareises, und die Sommergränze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; daß aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muß, ist klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Inneren und an den Ostküsten von Nordamerika rührt zum Theil daher, daß die Südwestwinde hier nicht

mehr Seewinde, sondern Landwinde sind, und deshalb hier nicht mehr den mildernden Einfluß ausüben können wie auf den Westküsten. Während die europäischen Küsten von wärmerem Wasser bespült sind, ziehen sich an den Ostküsten von Nordamerika kalte Meerströmungen von Norden nach Süden. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbay kommenden Strömungen, um an der Küste von Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Golfstrom zu ergießen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers selbst, theils durch schwimmende Eisberge in die südlicheren Gegenden, und so ist diese Strömung ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

Auf der südlichen Hemisphäre sind die Isothermen weit weniger gekrümmt als auf der nördlichen, was wohl vorzugsweise darin seinen Grund hat, daß der größte Theil derselben mit Wasser bedeckt ist.

An den Westküsten von Südamerika macht sich eine bedeutende Annäherung der Isothermen gegen den Aequator hin bemerklich, wie man dies sowohl bei den Jahresisothermen als auch bei den Isothermen des Januar und des Juli sehen kann. Es rührt dies daher, daß gerade an diesen Küsten eine vom Südpol gegen den Aequator gerichtete Meeresströmung die kälteren Gewässer des südlichen Eismeeres den niederen Breiten zuführt.

Eine ähnliche Strömung im südlichen Theile des atlantischen Oceans bewirkt, daß auch zwischen Brasilien und Afrika die Isothermen ihre convexen Gipfel dem Aequator zukehren.

Im Allgemeinen ist die südliche Hemisphäre kühler als die nördliche, wie sich schon daraus ergiebt, daß der größte Theil des Gürtels, innerhalb dessen die mittlere Jahrestemperatur über 20° R. ist, zum größten Theil auf die nördliche Hemisphäre fällt (Tab. XVI). Auch die Tabelle auf Seite 321 bestätigt die eben ausgesprochene Behauptung.

Die geringere Wärme der südlichen Halbkugel mag ihren Grund wohl vorzugsweise darin haben, daß das Meer einen großen Theil der seine Oberfläche treffenden Wärmestrahlen reflectirt, daß also überhaupt die Quantität der auf der südlichen Erdhälfte absorbirten Wärmestrahlen nicht so groß ist wie auf der nördlichen, weit mehr Land enthaltenden Hemisphäre.

141 **Abweichungen vom normalen Gange der Wärme.** Die periodischen Schwankungen der Lufttemperatur treten nie rein auf, sie erscheinen stets mehr oder weniger durch unregelmäßige Veränderungen alterirt. Wir brauchen nur die thermometrischen Beobachtungsreihen irgend eines Ortes mit Aufmerksamkeit zu verfolgen, um zu finden, wie verschieden der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen ist, wie bedeutend die aus den Beobachtungen gezogene mittlere Temperatur eines Monats in einzelnen Jahren von dem entsprechenden Mittel anderer Jahre sowohl wie von dem allgemeinen Monatsmittel abweicht.

Dove hat die nicht periodiſchen Aenderungen der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde einer genaueren Unterſuchung unterworfen und die Reſultate ſeiner Forſchungen in einer Reihe von Aufſätzen niedergelegt, welche in den Jahrgängen von 1838 bis 1846 der Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht wurden. Man findet daſelbſt nicht allein die Reſultate ſeiner mühevollen Studien, ſondern auch eine Zuſammenſtellung des geſammten Beobachtungsmaterials, welches er zuſammenbringen konnte, und welches die Baſis ſeiner Unterſuchungen bildet.

Iſt einmal das allgemeine Mittel der Temperatur für irgend einen Monat an einem beſtimmten Orte aus einer möglichſt großen Reihe von Beobachtungsjahren bekannt, ſo kann man leicht ermitteln, um wie viel die mittlere Temperatur deſſelben Monats für ein beſtimmtes Jahr über oder unter dem entſprechenden allgemeinen Monatsmittel war. Wenn wir z. B. wiſſen, daß das allgemeine Monatsmittel für den December in Berlin 0,35° R. iſt, daß aber die mittlere Temperatur dieſes Monats im Jahre 1829 daſelbſt nur — 6,93° R. betrug, ſo iſt klar, daß der December 1829 zu Berlin um 7,28° R. zu kalt war.

Solche Vergleichungen hat nun Dove in großer Anzahl zuſammengeſtellt. Die Tabelle auf der folgenden Seite giebt einen Auszug einer ſolchen Zuſammenſtellung für die Jahre 1829 und 1834. Die Zahlen ohne Vorzeichen geben an, wieviel die mittlere Monatstemperatur in den genannten Jahren über, die negativen, wieviel ſie unter dem allgemeinen Monatsmittel des Ortes war.

Wir ſehen aus dieſer Tabelle, daß der December 1829 in Europa ſehr kalt war. In Paris war die mittlere Temperatur dieſes Monats um 5,67, in Berlin war ſie ſogar 7,28° R. unter dem allgemeinen Mittel des Monats December. Dieſe Abweichung finden wir nun aber keineswegs in gleicher Weiſe an den übrigen in der Tabelle zuſammengeſtellten Orten. In Petersburg und Kaſan war der December 1829 freilich auch noch zu kalt, aber nicht ſo viel wie in Paris und Berlin, in Irkutzk dagegen finden wir ſchon einen merklichen Ueberſchuß der mittleren Monatstemperatur; ebenſo auf der Inſel Island, während dieſer Ueberſchuß in Nordamerika noch bedeutender iſt und zu Marietta 3,74° R. erreicht.

Aehnliche Verhältniſſe, wenn auch nicht ganz ſo ausgezeichnet, finden wir im Januar 1829.

Zu Paris herrſchte während des ganzen Jahres 1829 eine zu niedrige Temperatur; zu Berlin finden wir nur in den Monaten Juni und September einen ganz unbedeutenden Ueberſchuß an Wärme, während an allen anderen auf der Tabelle verzeichneten Orten dieſer Ueberſchuß in mehreren Monaten bald mehr oder weniger bedeutend ausfällt. Namentlich zeigt Reykiavig in den Sommermonaten eine zu hohe Temperatur.

Für den Februar 1829 erſtreckt ſich die zu niedrige Temperatur über alle in unſerer Tabelle verzeichneten Orte; der Unterſchied vom allgemeinen Mittel der mittleren Februartemperatur iſt aber keineswegs überall gleich. In Marietta und in Petersburg war die Kälte am bedeutendſten, während in Rey-

	Nordamerika.		Island.	Europa.			Nordasien.	
	Marietta.	Concord.	Reykiavig.	Paris.	Berlin.	Petersburg.	Kasan.	Irkutsk.
1829.								
Januar	0,48	— 0,71	— 0,02	— 3,03	— 2,16	— 0,94	— 1,38	0,79
Februar	— 4,28	— 2,62	— 0,14	— 0,98	— 2,84	— 4,07	— 0,71	— 0,50
März	— 2,69	— 1,63	— 0,37	— 1,02	— 1,55	— 2,45	— 0,68	— 0,10
April	— 1,70	— 0,24	0,19	— 0,50	— 0,12	— 1,75	— 1,46	— 0,94
Mai	1,34	1,00	— 0,11	— 0,22	— 1,71	0,70	0,58	— 0,92
Juni	0,87	0,18	0,56	— 0,15	0,38	— 0,23	0,05	— 0,91
Juli	— 0,57	— 0,44	1,91	— 0,53	0,00	1,93	1,37	0,19
August	0,12	— 0,14	2,56	— 0,98	— 0,28	— 0,55	0,22	0,03
September	— 0,47	— 2,87	— 0,06	— 1,10	0,27	1,55	1,26	— 0,03
October	0,77	— 0,38	— 1,56	— 1,30	— 1,25	— 1,21	0,46	1,05
November	— 1,77	0,04	— 0,20	— 1,47	— 2,34	— 1,46	— 0,26	1,65
December	3,74	3,02	1,24	— 5,67	— 7,28	— 0,84	— 2,89	1,74
1834.								
Januar	— 2,20	— 1,47	— 1,47	4,46	5,33	— 2,40	— 2,59	— 0,48
Februar	3,30	1,55	0,05	— 0,43	1,20	0,25	— 4,65	1,94
März	0,03	0,59	0,16	0,41	0,81	1,81	3,57	1,49
April	0,47	0,87	— 0,23	— 1,13	— 1,11	— 0,14	1,74	1,45
Mai	— 1,52	— 1,63	— 1,15	1,06	1,54	0,19	— 0,05	1,42
Juni	0,23	— 0,71	— 1,79	0,50	0,99	— 1,67	0,21	0,74
Juli	1,23	2,00	— 1,11	0,82	3,26	— 0,34	— 2,00	— 0,06
August	0,43	— 0,63	— 2,06	1,01	2,64	2,01	1,30	— 0,15
September	— 0,28	0,91	— 1,30	1,67	1,17	— 0,10	— 0,07	0,89
October	— 1,40	— 0,38	— 1,53	0,00	0,09	— 0,08	1,88	1,38
November	— 0 10	— 1,38	— 0,01	0,12	0,76	— 0,35	1,54	2,65
December	0,44	— 1,42	2,14	0,01	1,33	1,29	2,37	0,68

kiavig und in Irkutzk die negative Abweichung nur unbedeutend ist. Von Marietta nach Osten gehend finden wir eine Abnahme der negativen Abweichung; für England weisen Dove's Tabellen sogar eine, freilich unbedeutende positive Abweichung nach. Noch weiter nach Osten zu wächst die negative Abweichung wieder, um in Petersburg wieder ein Maximum von 1,07° R. zu erreichen und dann wieder bis Irkutzk abzunehmen, wo sie nur noch $^1/_2$ Grad beträgt.

Diese Verhältnisse berechtigen uns wohl zu der Annahme, daß östlich über Irkutzk hinaus im Februar 1829 eine positive Abweichung von der normalen Temperatur stattgefunden habe, daß im östlichen Asien, im westlichen Nordamerika und dem zwischenliegenden Ocean der Februar 1829 zu warm gewesen, und daß also hier der Gegensatz gegen die zu niedrige Temperatur zu suchen sei, welche zu jener Zeit im Osten von Amerika, in Europa und im westlichen Theile von Asien herrschte. Leider fehlt es an Beobachtungen aus jener fast 180 Längengrade umfassenden Gegend, welche unsere Vermuthung bestätigen könnten.

Einen Gegensatz gegen 1829 bildet das Jahr 1834. Das westliche Europa hatte sich fast das ganze Jahr 1834 hindurch eines Ueberschusses an Wärme zu erfreuen, während wir auf der Tabelle für Island schon fast durchgängig negative Vorzeichen sehen. Der Januar 1834 war im ganzen westlichen Europa bedeutend über dem allgemeinen Mittel, während alle auf der Tabelle verzeichneten Orte mit Ausnahme von Paris und Berlin zu viel Kälte hatten.

Gleichzeitige Witterungsverhältnisse verschiedener Gegenden. 142 Durch derartige Zusammenstellungen und Vergleichungen, wie wir sie im vorigen Paragraphen kennen lernten, hat Dove nachgewiesen:

1) daß größere Abweichungen vom normalen Gange der Temperatur nicht local auftreten, sondern daß sie sich gleichzeitig über größere Strecken der Erdoberfläche verbreitet zeigen, daß dagegen

2) eine zu große Kälte oder zu große Wärme auch nicht gleichzeitig über die ganze Erde verbreitet ist, sondern daß jedes in irgend einer Gegend auftretende Extrem sein Gegengewicht in einer entgegengesetzten Abweichung an anderen Gegenden findet.

Es ist demnach höchst wahrscheinlich, daß stets dasselbe Quantum Wärme auf der Erdoberfläche verbreitet ist, daß aber die Vertheilung desselben außer den periodischen Schwankungen auch nicht periodische Aenderungen erleidet.

Was nun die Verbreitung gleichartiger Witterungsverhältnisse betrifft, so finden sie sich häufiger in der Richtung von Süd nach Nord, als von West nach Ost, so also, daß die entgegengesetzten Extreme meist in der Richtung von West nach Ost neben einander liegen, wofür namentlich die Temperaturverhältnisse der Jahre 1829 und 1831 Beispiele liefern. So steht die Witterung in Europa häufig im Gegensatz zu der in Nordamerika und in Sibirien, während sie sich zu anderen Zeiten mehr dem einen oder dem anderen Nachbarn anschließt.

Vollständig werden diese Verhältnisse erst hervortreten, wenn sich das Beobachtungsmaterial auch über den westlichen Theil von Amerika und den östlichen von Asien erstrecken wird.

Ob wir einen kalten oder milden Winter haben, ob der Sommer heiß oder gemäßigt ist, das hängt davon ab, welche Windrichtung längere Zeit die herrschende ist. Wir werden weiter unten sehen, daß auf der nördlichen Hemisphäre, locale Störungen abgerechnet, Nordost und Südwest die herrschenden Winde sind, welche, neben einander herfließend, sich abwechselnd zu verdrängen suchen. Während die Luft als ein breiter Südweststrom über bestimmte Länder und Meere vom Aequator in höhere Breiten strömt, wird dagegen an anderen Stellen ein entgegengesetzter Strom die Luft wieder dem Aequator zuführen. Der Nordost bringt uns aber, wie gleichfalls später nachgewiesen werden soll, kalte Winter und heiße Sommer, der Südwest hingegen milde Winter und kühle Sommer.

Ob also der Winter irgend eines Jahres in einer bestimmten Gegend strenger oder milder ist als gewöhnlich, wird demnach davon abhängen, ob diese Gegend zu jener Zeit in den Südwest- oder ob sie in den Nordoststrom aufgenommen ist, und ebenso sind die Abweichungen im Sommer von der gerade herrschenden Windrichtung abhängig.

Da nun aber dieselbe Windrichtung nicht gleichzeitig über die ganze Hemisphäre herrschen kann, sondern Ströme entgegengesetzter Richtung neben einander herlaufen müssen, so ergiebt sich auch als eine nothwendige Folge dieses Verhältnisses, daß gleichnamige Abweichungen vom normalen Gange der Wärme ebenfalls nicht über die ganze Hemisphäre verbreitet sein können, sondern daß man auf demselben Breitengrade abwechselnd positive und negative Abweichungen finden muß. Herrscht z. B. im Januar in Europa der Südweststrom vor, so wird daselbst eine für diese Zeit ungewöhnlich milde Witterung herrschen, während dann in denjenigen Orten, auf welchen gleichzeitig der Nordost weht, der negative Gegensatz auftritt.

Manchmal, wenn auch nicht häufig, hält eine Abweichung nach gleichem Sinne längere Zeit an. So finden wir zu Paris das ganze Jahr 1829 zu kalt, und zu Berlin erheben sich nur die Monate Juni und September unbedeutend über das Mittel. Ein noch auffallenderes Beispiel der Art bietet die im westlichen Europa vom Juni 1815 bis zum December 1816 fortdauernde Kälte, welche die traurige Mißernte von 1816 zur Folge hatte. Gleichzeitig erfreute sich Osteuropa einer milden Temperatur.

Der bedeutenden Getreideausfuhr Odessas von 1815 bis 1817 verdankt dieser Ort sein Aufblühen als Handelsstadt.

Das Jahr 1834 zeigt dagegen für das westliche Europa vorherrschend positive Differenzen. Ebenso die Jahre 1811, 1822 u. s. w., welche als vorzügliche Weinjahre bekannt sind.

Es ist eine ganz irrige Annahme, daß stets auf einen kalten Winter ein heißer Sommer folge. Guten Weinjahren geht im Gegentheile meist ein milder Winter oder Frühling vorher. So war es wenigstens 1811, 1819, 1822 und 1834.

Ueberſieht man die in dieſem und dem vorigen Paragraphen mitgetheilten Thatſachen und Geſetze, ſo ergiebt ſich aus ihnen der Schluß, daß anomale Witterungsverhältniſſe nicht kosmiſchen, ſondern nur telluriſchen Urſprungs ſind.

Veränderlichkeit monatlicher Mittel. Von den klimatiſchen Ver- 143
hältniſſen einer Gegend geben die allgemeinen Monatsmittel noch kein vollſtändiges Bild. Man erhält dies erſt, wenn man den Grad der Veränderlichkeit der Witterungsverhältniſſe kennt, wenn man weiß, wie weit ſich die monatlichen Mittel einzelner Jahre von dem entſprechenden allgemeinen Mittel entfernen können. Auch auf dieſen Punkt hat Dove ſeine Aufmerkſamkeit gerichtet. Er beſtimmte für eine große Anzahl von Orten die abſolute Veränderlichkeit, unter welcher er den größten Spielraum verſteht, innerhalb deſſen die mittlere Temperatur der einzelnen Monate während einer möglichſt großen Reihe von Beobachtungsjahren ſchwankte. So iſt z. B. die niedrigſte mittlere Januartemperatur, welche ſeit 1719 zu Berlin beobachtet wurde, die von 1823, welche —9,36° R., die höchſte aber die von 1796, welche + 4,92° R. betrug; die abſolute Veränderlichkeit des Januar für Berlin iſt demnach 14,28° R. Nach dieſer Erläuterung iſt die auf den folgenden Seiten ſtehende Tabelle größter Abweichungen monatlicher und jährlicher Mittel verſtändlich, welche ein Auszug der von Dove gegebenen iſt.

Die zweite Verticalreihe giebt die Anzahl der Beobachtungsjahre, während welcher die folgenden Differenzen vorkamen.

Aus der näheren Anſicht dieſer Tabelle geht unmittelbar hervor:

1) Daß die abſolute Veränderlichkeit der Temperatur zwiſchen den Tropen am geringſten, daß ſie aber in den Gegenden der Mouſſons (Oſtindien) bedeutender iſt als in der Region der Paſſate.

2) In der gemäßigten Zone, beſonders an Orten eines noch nicht überwiegenden Seeklimas, wächſt die abſolute Veränderlichkeit mit der Annäherung an die kalte Zone, wie ſich am deutlichſten durch die Vergleichung von Italien, den Alpen, Deutſchland und Nordeuropa ergiebt.

3) Die Nähe bedeutender Gebirge ſcheint beſonders die Veränderlichkeit während der Sommermonate zu ſteigern, wie ſich namentlich aus der Vergleichung der entſprechenden Zahlen für die Alpen und für Deutſchland ergiebt.

4) Im Seeklima iſt die Veränderlichkeit gering. Entfernt man ſich von den Küſten in das Innere der Continente, ſo nimmt die Veränderlichkeit anfangs zu, dann wieder ab. So iſt die Veränderlichkeit in England kleiner als an den benachbarten Küſten des Continents, und hier wieder kleiner als im innern Deutſchland. Im nördlichen Aſien iſt die Veränderlichkeit wieder weit geringer als in Deutſchland.

5) Die größte Veränderlichkeit findet in den Wintermonaten Statt, während in der gemäßigten Zone, namentlich in den Gegenden vorherrſchender Sommerregen der September der beſtändigſte Monat iſt.

Die Tropen.

		Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
Calcutta	8	5,23	4,62	3,64	3,22	2,00
Madras	21	3,42	3,24	4,98	7,47	4,40
Rio Janeiro . . .	7	2,66	1,55	1,83	1,27	2,33
Havanna	7	3,40	4,20	2,28	2,24	1,80

Italien.

Palermo	39	5,93	5,66	3,78	4,75	3,68
Rom	20	3,98	5,34	2,42	3,54	4,53
Nizza	20	4,50	4,04	5,70	5,25	3,60
Mailand	72	8,20	9,00	6,50	5,50	6,42
Mittel . . .		5,47	5,38	5,32	4,67	4,88

Alpen.

St. Bernhard . .	21	8,26	6,64	7,41	4,13	3,93
Genf	42	9,79	6,30	6,08	5,92	5,88
Insbruck	52	11,52	10,43	9,26	8,32	6,50
München	34	10,50	6,78	7,96	6,51	5,86
Mittel . . .		8,89	7,09	6,66	6,45	5,26

Inneres Deutſchland.

Carlsruhe	40	9,38	8,35	8,76	6,66	5,15
Stuttgart	43	14,09	9,08	6,28	8,27	5,66
Prag	15	10,54	9,17	6,33	4,27	5,49
Dresden	10	8,98	6,49	6,34	4,23	5,25
Mittel . . .		9,44	7,83	5,97	4,74	5,45

Küſten des Continents.

Paris	33	9,54	7,94	5,87	5,02	5,31
Harlem	17	5,92	5,94	4,05	3,29	4,08
Elberfeld	12	5,88	4,36	3,27	2,76	3,83
Hamburg	18	9,30	8,05	6,16	5,40	5,68
Danzig	24	9,07	6,96	6,15	5,35	6,12
Mittel . . .		8,66	6,80	5,74	4,98	5,16

Die Tropen.

Juni.	Juli.	Auguſt	Septbr.	Octbr.	Novbr.	December.	Jahr.
2,10	1,42	0,76	1,66	1,23	1,67	1,91	
2,71	3,29	2,53	2,44	1,73	2,76	2,27	1,98
1,24	1,24	2,66	2,40	1,17	1,88	1,29	
0,90	2,40	2,02	2,04	1,94	1,98	1,41	1,41

Italien.

4,35	3,82	3,24	4,71	3,54	3,93	5,07	1,76
5,30	3,50	3,88	4,56	3,34	4,11	4,44	2,01
7,60	3,90	4,45	3,75	4,35	4,25	4,45	3,55
5,51	4,60	5,28	6,89	5,20	5,20	6,80	2,78
5,17	3,68	4,45	4,26	4,25	4,77	5,29	2,21

Alpen.

5,66	6,21	3,54	5,65	5,02	8,17	6,29	2,29
5,89	5,06	5,14	4,27	5,09	6,37	7,53	2,24
4,99	6,46	8,93	6,13	7,46	8,47	13,03	4,45
5,20	5,22	6,49	5,79	4,47	5,23	9,17	2,57
5,06	4,99	5,36	4,65	5,10	5,99	9,10	2,59

Inneres Deutſchland.

6,25	4,95	5,31	4,77	6,63	6,62	9,68	2,25
5,53	5,31	6,23	4,72	6,94	5,10	10,76	3,02
2,65	3,67	5,70	3,11	3,81	6,01	11,87	3,30
2,26	5,14	5,14	2,82	3,57	4,30	8,28	3,09
3,95	4,71	5,01	3,41	4,45	5,23	972	2,57

Küſten des Continents.

4,67	4,00	4,70	3,86	4,88	5,40	9,70	2,34
4,18	3,84	3,97	2,64	4,20	4,41	8,72	2,65
5,55	3,78	4,75	3,97	3,54	4,84	0,53	2,12
4,28	5,05	5,28	3,15	6,00	4,56	8,32	2,46
5,98	4,19	6,14	4,26	3,81	5,55	9,14	3,58
5,00	4,54	5,30	3,79	4,56	5,48	9,11	2,69

England.

		Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
London	52	9,47	5,91	5,73	4,86	4,73
Mancheſter	25	8,76	5,42	3,81	5,55	5,20
Dublin	17	6,68	5,01	5,71	4,62	3,08
Edinburgh	11	4,15	3,45	4,13	3,48	1,90
Mittel . . .		5,88	4,86	4,44	3,97	3,88

Nordeuropa und Nordaſien.

Stockholm	16	10,59	9,10	7,15	6,36	5,06
Upſala	40	13,13	11,26	11,22	7,64	6,76
Torneo	31	11,66	14,67	9,93	8,00	9,67
Petersburg . . .	14	7,37	9,32	8,19	6,38	5,32
Kaſan	8	5,87	8,35	5,36	3,32	5,39
Irkutzk	10	4,47	4,66	4,76	2,12	2,87
Mittel . . .		10,51	10,29	8,17	6,96	5,99

Nordamerika.

Salem	43	6,63	7,60	4,84	4,69	6,17
Marietta	10	6,98	8,45	5,36	6,34	3,63
Montreal	10	3,28	6,00	4,00	5,68	4,24
Mittel . . .		5,98	6,53	4,76	4,96	4,84

England.

Juni.	Juli.	Auguſt.	Septbr.	October.	Novbr.	December.	Jahr.
4,27	4,76	4,58	4,25	4,84	4,80	7,39	3,02
5,07	5,34	3,15	4,18	4,31	5,33	5,19	2,27
3,19	3,15	3,95	3,73	4,26	4,99	4,74	3,04
4,13	2,41	3,69	2,94	2,00	3,83	3,51	1,42
3,98	3,51	3,63	3,63	4,20	4,40	5,04	2,18

Nordeuropa und Nordaſien.

4,72	5,57	5,62	4,10	5,48	5,65	10,06	3,30
5,73	5,51	4,78	4,78	7,44	8,56	11,03	3,10
9,28	7,22	7,70	9,20	8,20	8,48	12,58	0,96
4,44	5,41	4,83	3,62	3,60	5,46	9,22	3,17
4,16	3,37	4,78	2,38	4,50	7,06	10,47	
3,90	2,68	1,72	1,25	1,91	3,22	5,02	
5,76	5,54	5,82	5,35	6,76	7,43	9,66	2,64

Nordamerika.

4,44	4,85	4,11	3,92	5,55	4,68	9,28	2,69
3,23	3,22	3,56	4,46	5,98	5,74	10,25	2,31
5,04	2,72	3,92	2,88	3,76	5,76	8,56	2,48
3,84	3,88	3,93	3,56	4,27	4,74	8,15	2,58

144 **Abnahme der Temperatur in höheren Luftregionen.** Die Erwärmung der Luft rührt einerseits daher, daß sie einen Theil der sie durchdringenden Sonnenstrahlen absorbirt, andererseits daher, daß sie mit dem durch die Sonnenstrahlen erwärmten Boden in Berührung ist. Die letztere Wärmequelle ist weitaus die bedeutendste.

Die durch Berührung mit dem Boden erwärmte Luft wird eben durch die Erwärmung ausgedehnt, ihr specifisches Gewicht nimmt ab und deshalb steigt sie in die Höhe, die vom Boden erhaltene Wärme mit sich führend. Allein diese Wärme macht sich in den höheren Luftregionen keineswegs durch eine bedeutende Temperaturerhöhung geltend; denn beim Aufsteigen nimmt die Dichtigkeit der Luft fortwährend ab und die Abnahme der Dichtigkeit ist von einer fortwährenden Wärmebindung begleitet, weil ja die Wärmecapacität der Gase um so mehr wächst, je mehr ihre Dichtigkeit abnimmt. Daraus folgt nun, daß die höheren Luftschichten kälter sein müssen als die tieferen.

Daß eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

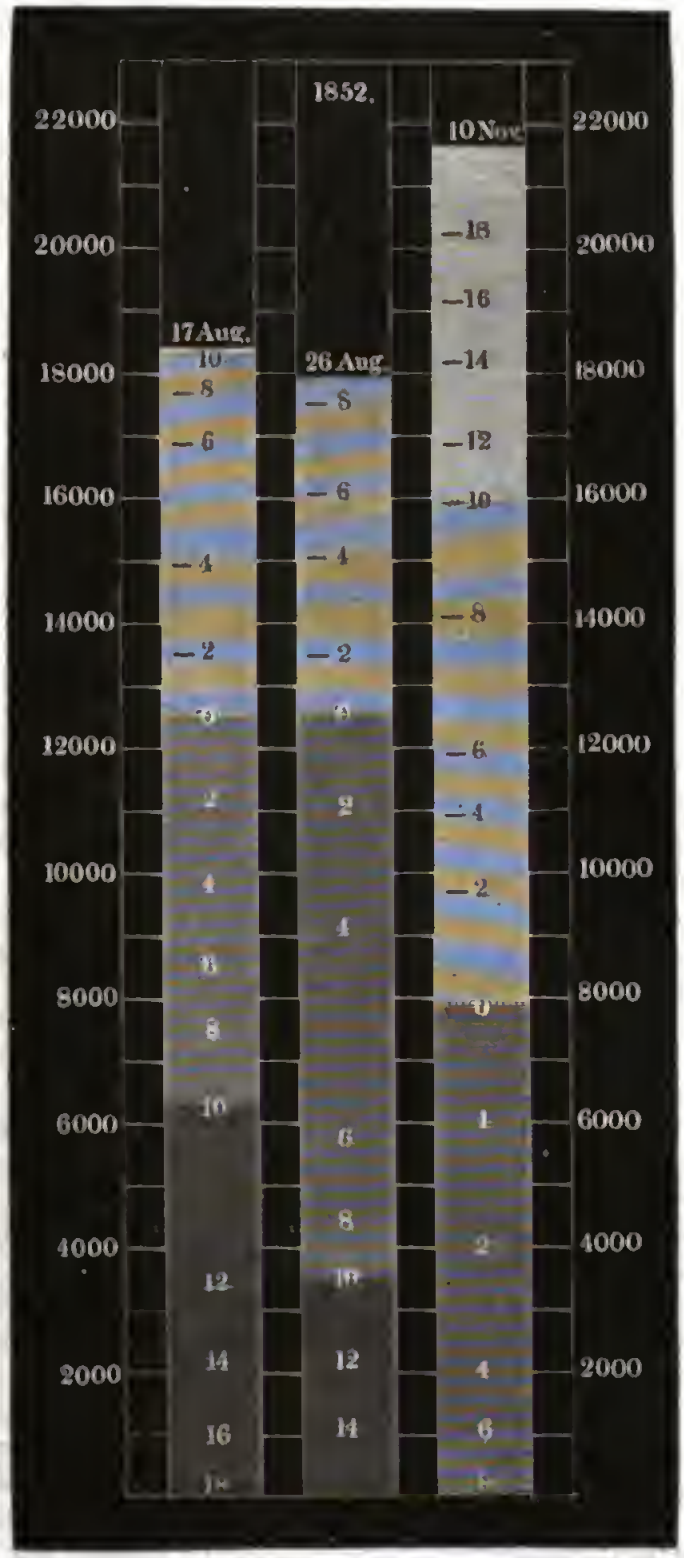
Die Abnahme der Temperatur bei verticaler Erhebung kann nicht leicht ein regelmäßiges Gesetz befolgen, weil die beständigen Luftströmungen, Wolken-, Nebelschichten u. s. w. einen mehr oder weniger störenden Einfluß ausüben.

Gay-Lussac stieg im Jahre 1804 in einem Luftballon bis zur Höhe von 21000 Fuß; während das Thermometer am Boden 24,8° R. zeigte, beobachtete er in jener Höhe die Temperatur von — 7,6° R., also eine Temperaturdifferenz von mehr als 32 Graden. Barral und Bixio, welche am 27. Juli 1850 ungefähr zu gleicher Höhe aufstiegen, gelangten in einer Höhe von 6000 Fuß in eine Nebelschicht, deren obere Gränze erst erreicht wurde, nachdem sie sich bis zu einer Höhe von 20000 Fuß über dem Boden erhoben hatten. Nahe an der oberen Gränze dieser Nebelschicht zeigte das Thermometer noch — 8° R., sank aber unmittelbar über derselben auf — 18,4° R. In einer Höhe von 21000 Fuß zeigte das Thermometer nur noch — 32° R.

Fig. 201 giebt eine vergleichende Uebersicht der thermischen Beobachtungen, welche bei drei der im Jahre 1852 in England unternommenen wissenschaftlichen Luftschiffahrten angestellt worden sind. Die Zahlen auf der rechten und auf der linken Seite der Figur geben die nach Pariser Fußen gemessenen Höhen; die Zahlen, welche auf den schraffirten Streifen stehen, geben die an den entsprechenden Stellen beobachteten Temperaturen in Réaumur'schen Graden an. So sehen wir z. B., daß bei der Luftfahrt vom 17. August in einer Höhe von 11000 Fuß die Temperatur von + 2° R., bei der Luftfahrt vom 10. November aber dieselbe Temperatur in einer Höhe von 4000 Pariser Fuß beobachtet wurde.

Der besseren Uebersicht wegen sind die Luftschichten, innerhalb deren die Temperatur über 10°, zwischen 10 und 0°, zwischen 0 und — 10° und unter — 10° betrug, durch verschiedene Schraffirung unterschieden.

Digitized by Google


1852.
17 Aug.
26 Aug.
10 Nov.
22000
20000
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000

Auf hohen Bergen zeigt schon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an: je höher man steigt, desto mehr nimmt die Vegetation den Charakter kälterer Himmelsstriche an; am auffallendsten zeigt sich dieser Wechsel in den Tropen; besonders großartig erscheint er aber an den ungeheuren Gebirgen Südamerikas, wo man in einem Tage aus den Wäldern von Palmen und Bananen bis zu den Gränzen des ewigen Schnees aufsteigen kann.

Wie in der Andeskette und den mexicanischen Gebirgen die mittlere Temperatur mit der Höhe über der Meeresfläche abnimmt, übersieht man aus folgender von Humboldt gegebenen Tabelle.

Höhe über der Meeresfläche in Pariser Fuß.	Mittlere Temperatur.	
	Cordilleras de los Andes.	Mexicanische Gebirge.
0	22° R.	20,8° R.
3000	17,0	15,8
6000	14,4	14,4
9000	11,3	11,0
12000	5,6	6,0
15000	1,2	0,8

Da sich in der heißen Zone die Temperatur der Luft im Laufe eines Jahres nur wenig ändert, so kann man sich von der Temperatur in verschiedenen Höhen der Andeskette die beste Vorstellung machen, wenn man sie mit der mittleren Temperatur gewisser Monate in höheren Breiten vergleicht. So findet man in den Ebenen des Orinoco täglich eine Temperatur, welche noch um 4° R. höher ist als die mittlere Temperatur des Monats August in Palermo; zu Popayen, 5400 Fuß über dem Meere, findet man die Temperatur der drei Sommermonate in Marseille; zu Quito die Temperatur von Paris während der letzten Hälfte des Mai, in den Paramos (11000 Fuß) die Temperatur von Paris während der ersten Hälfte des April.

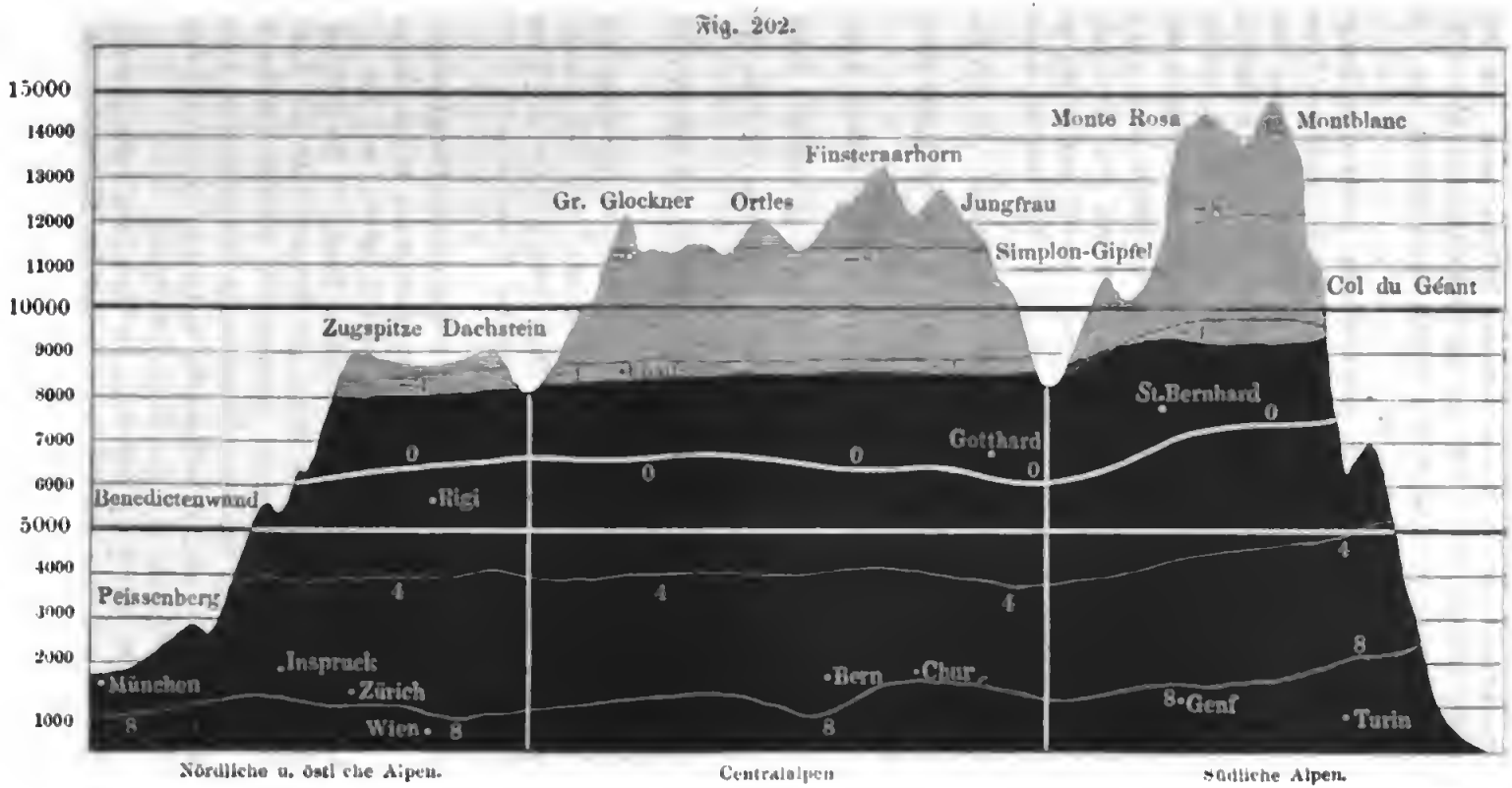
Man kann sich an den Abhang großer Gebirgsmassen isothermische Linien gelegt denken, welche mehr oder weniger als horizontale Curven erscheinen werden. So zieht sich um den Fuß der Andeskette eine Isotherme von 22°. Da wo eine 6000 Fuß hohe Ebene in die Masse der Andeskette einschneidet, befindet sich ungefähr die Isotherme von 14° R. u. s. w.

Die Isotherme von 0° wird an der Andeskette durch eine Reihe von einander getrennter in sich geschlossener Curven, welche um die isolirten Schneekuppen herumziehen, repräsentirt sein.

So folgen sich denn hier in verticaler Richtung in ganz kurzen Entfernungen von einander die Isothermen in gleicher Ordnung, wie man sie durchschneidet, wenn man von dem Aequator bis in die Polargegenden wandert.

Wie die Isothermen in den Alpen über einander liegen, zeigt die von Schlagintweit (Poggendorff's Annalen LXXXII) entlehnte Fig. 202.

Fig. 202.


15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
Monte Rosa
Montblanc
Finsteraarhorn
Gr. Glockner
Ortles
Jungfrau
Simplon-Gipfel
Col du Géant
Zugspitze
Dachstein
St.Bernhard
Gotthard
Benedictenwand
Rigi
Peissenberg
Inspruck
München
Zürich
Wien
Bern
Chur
Genf
Turin
0
4
8
Nördliche u. östl che Alpen.
Centralalpen
Südliche Alpen.

Da Humboldt für die südamerikanischen Gebirge unter dem Aequator eine Temperaturabnahme von 20° R. für eine Erhebung von 15000 Fuß gefunden hat, so ergiebt sich dort im Durchschnitt eine Erhebung von 750 Fuß für eine Temperaturabnahme von 1° R.

Kennt man für eine Gegend die Höhendifferenz, welche einer Temperaturerniedrigung von 1° R. entspricht, so kann man aus der mittleren Temperatur eines höher gelegenen Ortes annähernd genau die mittlere Temperatur berechnen, welche sich unter sonst gleichen Umständen im Niveau des Meeres finden würde; dividirt man nämlich mit dem Höhenunterschiede, welcher einer Temperaturdifferenz von 1° R. entspricht, in die Höhe des Beobachtungsortes, so findet man, um wie viel Grade die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres höher sein würde. In den Alpen entspricht durchschnittlich eine Erhebung von 750 Fuß einer Temperaturerniedrigung von 1° Réaumur; nun aber ist das Hospiz auf dem St. Bernhard 7670 Fuß über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur ist also $\frac{7670}{750} = 10{,}2°$ R. niedriger als am Meeresspiegel; da aber die mittlere Temperatur auf dem St. Bernhard — 0,8° R. ist, so ergiebt sich für die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres 9,4° R.

Genf liegt 1218 Fuß über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur 8,2° R. ist demnach $\frac{1218}{750} = 1{,}6°$ R. niedriger als sie sein würde, wenn Genf im Niveau des Meeres läge; seine Temperatur würde also für diesen Fall 8,2 + 1,6 = 9,8° R. betragen.

Die mittlere Temperatur der südöstlichen Schweiz, auf den Meeresspiegel reducirt, wäre demnach 9,4° bis 9,8° R.

Die Isothermen auf der Karte Tab. XVI, sowie die Isotheren und Isochimenen auf der Karte Seite 324 sind so gezogen, wie diese Linien laufen würden, wenn alle Orte in der Höhe des Meeresspiegels lägen; die Temperatur der verschiedenen Orte ist also auf das Niveau des Meeres reducirt.

145 **Temperaturschwankungen in höheren Luftregionen.** Für Gebirge, welche nicht bedeutend ausgedehnte Hochebenen bilden, sondern vorzugsweise durch hohe Kämme und Gipfel gebildet werden, wie dies z. B. für die Alpen der Fall ist, sind die Temperaturschwankungen in der Höhe weit geringer als in der Tiefe, weil isolirte Berge und Bergreihen auf die Temperatur der höheren Luftregionen nur einen unbedeutenden Einfluß ausüben können, und weil die periodischen Temperaturschwankungen des Bodens in der Ebene, welche sich zunächst den unteren Luftschichten mittheilen, in der Höhe in ihrer Wirkung schon abgeschwächt sind, ehe sie merklich werden.

So fand z. B. Kämtz auf dem Rigi als Mittel aus einer Beobachtungsreihe von mehreren Wochen die Differenz des täglichen Maximums und Minimums = 3,04° R., während diese Differenz zu Zürich gleichzeitig 7,6° R. betrug.

Auf dem St. Bernhard beträgt (Tabelle S. 326) die Differenz zwischen

den mittleren Temperaturen des wärmſten und des kälteſten Monats nur 12,38° R., während für Genf dieſer Unterſchied auf 18,09° R. ſteigt.

Da nun die Schwankungen der Temperatur benachbarter, aber ungleich hoch gelegener Orte einander nicht parallel gehen, ſo iſt klar, daß die Temperaturdifferenz zwiſchen zwei ſolchen Orten nicht conſtant bleiben kann, daß ſie mit der Jahreszeit ſich ändert. So beträgt die Differenz der mittleren Januartemperatur für Genf und den St. Bernhard nur 6,52° R., während der Unterſchied der mittleren Julitemperatur 12,23° R. iſt.

Daraus folgt dann auch, daß die Höhe, um welche man ſich erheben muß, damit die Temperatur um 1° R. ſinkt, nicht für alle Zeiten des Jahres dieſelbe iſt; ſie iſt größer im Winter, kleiner im Sommer.

Die Einwirkung des erwärmten Bodens kann ſich nur nach und nach auf die höheren Luftſchichten erſtrecken. Es iſt alſo immer eine mehr oder weniger bedeutende Zeit nöthig, bis ſich die in der Tiefe ſtattfindenden Temperaturſchwankungen in größere Höhen fortpflanzen; dadurch aber wird nothwendiger Weiſe die Zeit des täglichen und des jährlichen Maximums verſchoben, und zwar muß es auf den Höhen ſpäter eintreten als im Thal. Den Beobachtungen von Kämtz zufolge findet in der That in den Sommermonaten auf dem Rigi (5000 Fuß hoch) das Maximum der Temperatur erſt um 5 Uhr Nachmittags Statt.

Ebenſo iſt die Zeit des jährlichen Temperaturmaximums auf hohen Bergen verrückt. Während in Genf der Juli entſchieden der heißeſte Monat iſt, iſt auf dem St. Bernhard die mittlere Temperatur des Juli und des Auguſt faſt gleich; es iſt alſo offenbar die Zeit der größten Wärme gegen den Auguſt hin verſchoben.

Temperaturverhältnisse der Hochebenen. Ein iſolirter hoch in 146
die Luft hineinragender Bergkegel oder ein Bergkamm wird die höheren Regionen der Atmoſphäre nicht merklich erwärmen können, weil die Winde in jedem Augenblicke nur kalte Luftmaſſen an ihm vorbeiführen. Eine Hochebene von bedeutendem Umfange aber kann ſich unter dem Einfluſſe der Sonnenſtrahlen bedeutend erwärmen, indem ſie von einer weniger dichten und weniger hohen Luftſchicht bedeckt iſt als die tieferen Gegenden, weil alſo die Sonnenſtrahlen, welche eine Hochebene treffen, durch Abſorption in der Luft weniger Wärme verloren haben als die, welche zur Tiefe gelangen. Eine Hochebene kann alſo auch einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung der höheren Luftregionen ausüben, welche über ihr ſchweben und welche eben wegen der größeren Ausdehnung des Plateaus längere Zeit mit dem erwärmten Boden in Berührung bleiben.

Unter ſonſt gleichen Umſtänden muß es demnach auf Hochebenen wärmer ſein als auf iſolirten Berggipfeln von gleicher Höhe. In den mexicaniſchen Gebirgen zwiſchen dem 18. und 19. Grade nördlicher Breite hört ſchon in einer Höhe von 13600 Fuß alle phanerogamiſche Vegetation auf, die Schneegränze findet ſich in einer Höhe von 14500 Fuß, während in Peru bei gleicher ſüdlicher Breite in größerer Höhe eine zahlreiche ackerbauende Bevölkerung wohnt; Potoſi liegt 13540 Fuß über dem Meeresſpiegel, die Schneegränze

liegt hier in einer Höhe von 18350 Fuß. Dies erklärt sich nur durch die bedeutende Ausdehnung und Höhe der Hochebenen Perus. Das Plateau, in dessen Mitte der Titicaca-See liegt, erhebt sich zwischen zwei Gebirgsketten bis zu einer Höhe von mehr als 12350 Fuß; bei einer Breite von 60 geographischen Meilen erstreckt es sich vom 16. bis zum 20. Grade südlicher Breite, so daß es eine Oberfläche von 3600 Quadratmeilen hat. Die Plateaus der Andes in der Nähe des Aequators haben höchstens eine Oberfläche von 10 Quadratmeilen, und die Höhe der mexicanischen Hochebene beträgt nur 6000 bis 8000 Fuß.

Ein anderes Beispiel bietet die Hochebene von Tibet und der chinesischen Tartarei. In einer Höhe von 11700 Fuß wird hier in einer Breite von 32° noch Weizen mit Erfolg gebaut, die Cultur der Gerste steigt noch weit höher hinauf, während auf dem südlichen Abhange des Himalaya, in den Thälern des Ganges schon in einer Höhe von 9500 Fuß alle Cultur aufhört; ja selbst unter dem Aequator auf den Plateaus von Quito und Caxamarca ist die Gränze der Cultur des Weizens 2300 Fuß tiefer als in den Hochebenen von Tibet.

Der Einfluß der Hochebenen auf die Temperatur der oberen Luftregionen ist in ihrer Mitte am bedeutendsten. Zu Santa Fe de Bogota, in der Mitte eines Plateaus, ist die mittlere Jahrestemperatur 14,5° R., während sie in gleicher Höhe zu Facatativa am Rande des Plateaus nur 13,1° R. ist.

Während sich die Hochebenen unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen stark erwärmen, ist natürlich auch aus demselben Grunde der Wärmeverlust, den sie durch die nächtliche Strahlung erleiden, viel bedeutender als in der Tiefe. Auf der Hochebene von Caxamarca in Peru, wo in einer Höhe von 4300 Fuß die mittlere Temperatur 16° R. ist, erfriert doch der Weizen häufig des Nachts. Humboldt sah hier bei Tage im Schatten das Thermometer auf 25° R. steigen, während es vor Sonnenaufgang nur 8° R. gezeigt hatte.

Auf den Hochebenen sind also die täglichen Schwankungen der Temperatur, und, wenn sie weiter vom Aequator entfernt liegen, auch die jährlichen, viel größer als unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe; so hat z. B. die Hochebene von Tibet sehr heiße Sommer, obgleich die mittlere Jahrestemperatur ziemlich niedrig ist (die mittlere Temperatur des Monats October fand Turner 5,7° R., und dies ist so ziemlich genau auch die mittlere Jahrestemperatur), weil dagegen der Winter um so kälter ist. Auf der Nordseite des Himalaya liegen die Culturgränzen und die Schneegränze nicht etwa deshalb höher als auf dem südlichen Abhange, weil die mittlere Jahreswärme höher, sondern weil bei der ungleichmäßigeren Wärmevertheilung der Sommer auf der nördlichen Abdachung heißer ist.

147 **Die Schneegränze.** Die Temperaturabnahme in den höher über dem Meeresspiegel gelegenen Luftschichten wird dadurch besonders auffallend nachgewiesen, daß auf hohen Gebirgen der Schnee selbst in den Sommermonaten nicht wegschmilzt, daß diese Gipfel Jahr aus Jahr ein mit Schnee bedeckt bleiben. Im Vorübergehen ist der Gränze des ewigen Schnees in den Andes

von Südamerika bereits Erwähnung geſchehen, wir wollen jedoch dieſen Gegenſtand noch einer ausführlicheren Betrachtung unterwerfen.

Unter der Gränze des ewigen Schnees verſteht man diejenige Höhe, über welche hinaus, ſelbſt in der heißeſten Jahreszeit, der Schnee auf den freien Abhängen und ſteilen Wänden der Gebirge liegen bleibt. Solche mit ewigem Schnee bedeckte Localitäten werden Schneefelder genannt.

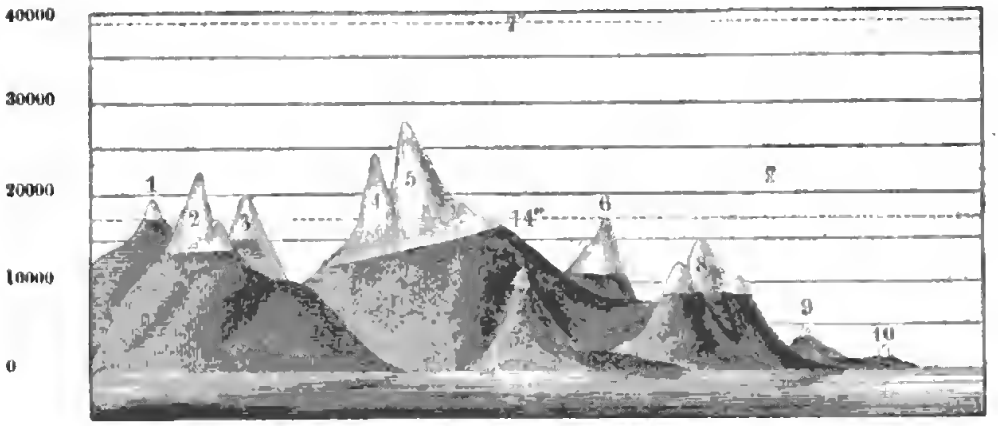
Im Allgemeinen wird natürlich die Schneegränze um ſo tiefer gegen den Meeresſpiegel herunter rücken, je mehr man ſich vom Aequator aus den Polen nähert; doch iſt ihre Höhe keineswegs allein durch die geographiſche Breite eines Ortes beſtimmt, ſondern ſie wird durch mancherlei locale Verhältniſſe auf das Mannigfaltigſte modificirt.

Die folgende Tabelle enthält eine Zuſammenſtellung der Höhe der Schneegränze in verſchiedenen Gegenden der Erde.

Gebirge.	Breite.	Untere Gränze des ewigen Schnees.	Mittlere Temperatur im Niveau des Meeres in gleicher Breite	
			des ganzen Jahres.	des Sommers.
Norwegen, Küſte	71¼° N.	2220 par. F.	0,2° R.	5,1° R.
Norwegen, im Inneren	70 — 70¼°	3300 »	— 2,4	8,9
Island	65°	2890 »	3,3	9,6
Norwegen, im Inneren	60 — 62°	4800 »	3,3	13,0
Aldankette (Sibirien)	60° 55′	4190 »	....	....
Nördl. Ural	59° 40′	4490 »	0,9	13,4
Kamtſchatka	56° 40′	4930 »	1,6	10,1
Altai	49¼ — 51°	6590 »	5,8	13,4
Alpen	45¾ — 46°	8350 »	8,9	14,7
Kaukaſus (Elbruz)	43° 21′	10380 »	11,0	17,3
Pyrenäen	42½ — 43°	8400 »	12,5	19,0
Aetna	37½°	8900 »	15,0	20,1
Nördl. Abhang des Himalaya	30¾ — 31°	15600 »	....	....
Südl. Abhang des Himalaya	.....	12200 »	16,2	20,6
Mexico	19 — 19¼°	13900 »	20	22,2
Abyſſinien	13° 10′	13200 »	....	....
Sierra Nevada de Merida	8° 5′	14000 »	22	22,6
Vulcan von Tolima	4° 46′	14380 »	....	....
Quito	0° 0′	15320 »	22,5	22,8
Oeſtl. Cordilleras von Chili	14½ — 18° S.	15000 »	....	....
Weſtl. Cordilleras von Chili		16500 »		
Chili, Andes der Küſte	41 — 44°	5630 »	....	....
Magellansſtraße	53 — 54°	3480 »	4,3	8

Wie ungleich die Höhe der Schneegränze auf den Gebirgen verschiedener Gegenden ist, wird durch Fig. 203 anschaulich gemacht, in welcher die vorzüglichsten Höhen von Südamerika, Asien und Europa gewissermaßen in eine Gruppe

Fig. 203.



zusammengestellt sind. Die Lage der Schneegränze ist durch die hier beginnend hellere Schraffirung zu erkennen. Die den durchlaufenden horizontalen Linien entsprechenden Höhen (in pariser Fuß ausgedrückt) sind am linken Rande der Figur beigesetzt.

Die erste Gruppe links stellt die südamerikanischen Gebirge dar und zwar ist Nr. 1 der Illimani, Nr. 2 der Aconcagua (ungefähr 33° südl. Br.), Nr. 3. der Chimborazzo.

Dem Himalayagebirge gehören die Gipfel Nr. 4 und 5 an, von denen der erstere den Schamalari, der letztere den Dhawalagiri darstellt. Die linke Seite dieser Gruppe entspricht dem südlichen, die rechte Seite dem nördlichen Abhange des Gebirges, und man sieht hier deutlich, wie die Schneegränze auf dem nördlichen Abhange höher liegt als auf dem südlichen.

Nr. 6 stellt den Elbruz, den höchsten Gipfel des Kaukasus, dar.

Die übrigen Gipfel in unserer Figur entsprechen europäischen Gebirgen, und zwar Nr. 7 den Pyrenäen, Nr. 8 den Alpen, Nr. 9 dem Sulitelma in Norwegen (67° nördl. Breite), Nr. 10 den Bergen der Insel Magerö, deren nördlichste Spitze das Nordcap bildet.

Man glaubte früher, daß sich die Gränze des ewigen Schnees stets in solchen Regionen finden müßte, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° C. ist. Wenn dies so wäre, so müßten alle Länder, deren mittlere Jahrestemperatur unter Null ist, beständig mit Schnee bedeckt sein, während wir doch z. B. wissen, daß selbst zu Jakutzk, bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 8,25° C. noch Cerealien gebaut werden.

Die Gränze, bis zu welcher selbst im Sommer der Schnee nicht wegschmilzt, kann also nicht ohne Weiteres aus der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes abgeleitet werden, sie hängt nicht sowohl von der mittleren Jahreswärme, sondern vielmehr von der Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten ab.

In Jakutsk ist die mittlere Temperatur des heißesten Monats 14,2° C. Bei einer solchen Wärme muß der Schnee wegschmelzen, der Winter mag noch so kalt gewesen sein. Wenn zu Jakutsk bei unveränderter mittlerer Jahrestemperatur von — 8,25° C. die Wärme so vertheilt wäre, daß sie nur zwischen 0° C. und — 16° C. schwankte, so würde der Schnee ewig liegen bleiben.

Die mittlere Temperatur der Schneegränze kann also an Orten, welche ein sehr excessives Klima haben, sehr niedrig sein; in solchen Gegenden aber, für welche die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer ist, wird die mittlere Jahrestemperatur an der Gränze des ewigen Schnees höher sein. Da nun zwischen den Wendekreisen die Schwankungen der Temperatur weit geringer sind als in den gemäßigten Zonen und in den Polargegenden, so wird auch die mittlere Jahrestemperatur der Luft an der Schneegränze in den Tropen weit höher sein als in höheren Breiten.

Denken wir uns einen Ort, an welchem die Temperatur der Luft das ganze Jahr hindurch 0° C. betrüge, so könnte der Schnee, welcher hier fällt, unmöglich wegschmelzen, und man sieht leicht ein, daß, wenn die Temperatur eines Ortes um nur sehr wenige Grade schwankt, die mittlere Temperatur über 0° C. sein muß, damit der gefallene Schnee vollkommen wegschmelzen kann, wenn man bedenkt, wie viel Wärme beim Schmelzen des Schnees gebunden wird. Es ist daher leicht zu begreifen, daß in den Tropen die mittlere Lufttemperatur an der Schneegränze über Null ist.

In den Tropen ist die mittlere Lufttemperatur der Schneegränze + 1,2° C., während sie in Norwegen vom 60. bis 70. Breitengrade — 5° C. ist; in Sibirien ist sie natürlich noch niedriger.

Da die Schneegränze vorzugsweise von der Temperatur des heißesten Monats abhängt, so muß die Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden, für welche die mittlere Jahreswärme in der Ebene gleich ist, verschieden sein, wenn die Vertheilung der Wärme an beiden Orten ungleich ist, wenn die eine Gegend ein Küstenklima, die andere aber ein Continentalklima hat. Bei gleicher mittlerer Jahreswärme in der Ebene liegt die Schneegränze für ein Küstenklima tiefer als für ein Continentalklima.

So hat z. B. Island und das Innere von Norwegen vom 60. bis 62. Grade fast ganz gleiche mittlere Jahreswärme, in Island ist aber die Sommerwärme geringer, und deshalb liegt auch die Schneegränze bedeutend (2000 Fuß) tiefer.

Je mehr Schnee im Winter fällt, desto heißer muß es im Sommer werden, um ihn ganz wegzuschmelzen; da nun an den Küsten mehr Schnee fällt als im Inneren der großen Continente, wo die Luft weit trockner ist, so ist darin ein neuer Grund zu suchen, warum an den Küsten die Schneegränze verhältnißmäßig tiefer liegt als im Inneren des Landes.

Die Pyrenäen und der Kaukasus liegen ungefähr in gleicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur sowohl als auch die mittlere Sommerwärme ist am Fuße der Pyrenäen höher als am Fuße des Kaukasus, und doch ist die Schneegränze am Kaukasus um 2000 Fuß höher als in den Pyrenäen, weil dort weit weniger Schnee fällt als hier.

Sehr auffallend erscheint es auch, daß die Schneegränze auf der nördlichen Abdachung des Himalaya um mehr als 3000 Fuß höher liegt als am südlichen Abhange; es wird dies aber begreiflich, wenn man bedenkt, daß gerade die über dem indischen Ocean mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, an den südlichen Abhang des riesenhaften Gebirges anschlagend, dort ungeheure Massen von Regen in den niederen und von Schnee in den höheren Regionen absetzt, während aus der trockenen Luft auf der nördlichen Abdachung ungleich weniger Schnee herabfällt; außerdem aber schließt sich an die nördliche Abdachung die bedeutende Hochebene von Tibet an, während sich das Gebirge auf der Südseite rasch bis zum Spiegel des Meeres herabsenkt.

Das Tafelland von Tibet besteht eigentlich aus mehreren durch Gebirgsketten getrennten Hochebenen von außerordentlicher Trockenheit, auf welchen die Temperaturschwankungen ungemein groß sind; da diese felsigen und sandigen Hochebenen sich im Sommer durch die Absorption der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, tragen sie viel zur Erhöhung der Schneegränze bei.

Ein ähnlicher Unterschied zeigt sich zwischen den östlichen und westlichen Cordilleras von Chili. Nach den Messungen von Pentland ist die Schneegränze vom 14. bis zum 18. Breitengrade noch bedeutend höher als unter dem Aequator selbst, was offenbar nur von dem Einflusse der Hochebenen herrühren kann.

Die Gränze des Schnees steigt und sinkt mit den verschiedenen Jahreszeiten; diese Schwankung ist in der heißen Zone Amerikas sehr unbedeutend, sie beträgt, nach Humboldt, nur 250 bis 350 Fuß; man darf jedoch die Gränze des Schnees nicht mit den Gränzen verwechseln, bis zu welchen noch von Zeit zu Zeit Schnee fällt und auch einige Zeit liegen bleibt. In den mexicanischen Gebirgen liegen die Gränzen, zwischen welchen die Schneegränze auf- und niedersteigt, schon bedeutend weiter, nämlich um 2000 Fuß, auseinander; dieser Unterschied ist leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, daß die mittlere Temperatur der drei wärmsten Monate in Mexico um 5° C., in Quito aber nur 1° bis 2° C. mehr beträgt als die mittlere Temperatur der drei kältesten Monate.

148 **Die Gletscher.** In den von Bergkämmen und Gipfeln eingeschlossenen und geschützten Hochthälern werden im Laufe des Winters ungleich größere Massen von Schnee angehäuft als auf den Schneefeldern, indem theils der Wind den Schnee in solchen Thälern zusammenweht, theils Lawinen in dieselben hinabstürzen.

Diese Schneemassen erleiden nun durch abwechselndes theilweises Aufthauen und Wiedergefrieren allmälig eine gänzliche Umänderung ihres Aggregatzustandes. Das durch Schmelzen gebildete Wasser dringt in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Schneekryställchen ein und füllt sie abwechselnd mit Luftblasen aus; der nächste Frost verwandelt diesen mit Wasser getränkten Schnee in eine Masse körnigen Eises, welche mit dem Namen Firn bezeichnet wird.

Durch eine mehrmalige, in Folge der Abwechselung von Sommer und Winter in großem Maßstabe stattfindende Wiederholung des eben angedeuteten Processes wird die Schnee- und Firnmasse allmälig mehr und mehr in Eis ver-

wandelt, welches, ſich in die Thäler hinabſenkend, die Gletſcher bildet. Jeder Winter häuft neue Schneemaſſen als Material zu fernerer Gletſcherbildung in den Hochthätern an.

Das Gletſchereis bildet keine compacte und durchſichtige Maſſe, wie das Eis der Seen und Flüſſe; es läßt ſich vielmehr leicht in Körner zerſchlagen, welche einzeln in hohem Grade durchſichtig, aber durch Luftbläschen von einander getrennt ſind. Weil die ganze Maſſe der Gletſcher aus ſolchen Körnern beſteht, ſo kann man auch mit Leichtigkeit auf denſelben gehen. An dem unteren Ende der Gletſcher haben dieſe Körner die Größe einer Wallnuß, während ſie höher hinauf kaum die Größe einer Erbſe erreichen, und der eigentliche Firn eine ganz ſandartige Maſſe bildet.

Fig. 204.

Das Gletſchereis bleibt nicht etwa an der Stelle liegen, an welcher es gebildet wurde, ſondern die ganze Maſſe iſt in einer beſtändigen, langſamen, thalabwärts gerichteten Bewegung begriffen, indem das Eis theils in Folge ſeiner eigenen Schwere auf der geneigten Baſis langſam hinabgleitet, theils durch das Gewicht der höher liegenden Firn- und Schneemaſſen hinabgeſchoben wird. Das Gletſchereis verhält ſich aber hierbei nicht wie ein zuſammenhängender feſter Körper, ſondern mehr wie eine zähe dickflüſſige Maſſe, denn die Geſchwindigkeit

der Gletſcherbewegung iſt keineswegs für den ganzen Querſchnitt dieſelbe; in der Mitte des Gletſcherſtromes iſt die Bewegung weit raſcher thalabwärts als an den Seitenrändern, und dieſer Umſtand bewirkt im Verein mit mehreren anderen, daß ſich im Gletſchereis zahlreiche Klüfte und Spalten bilden, wie dies Fig. 204 zeigt, welche einen Theil des Zermattgletſchers darſtellt.

Wie enorm die Mächtigkeit der Eismaſſen iſt, welche die Gletſcher in das Thal herabführen, davon giebt die Anſchauung des unteren Gletſcherendes die beſte Vorſtellung, weil man hier die Höhe der Eismaſſen überſehen kann. Fig. 205, welche das untere Ende des Zermatt- oder Gornergletſchers, eines des mächtigſten in der Schweiz, darſtellt, mag als erläuterndes Beiſpiel dienen.

Die Geſchwindigkeit, mit welcher die Gletſcher in das Thal hinabſchieben, hängt natürlich von localen Verhältniſſen, z. B. von der Neigung der Thalſohle, von der Mächtigkeit der Gletſcher- und Firnmaſſe u. ſ. w. ab. Auch ſchwankt die Größe der Gletſcherbewegung mit der Jahreszeit; ſie iſt größer im Sommer, wenn durch Wegſchmelzen der Baſis und durch das Waſſer, welches die feineren

Fig. 205.

Klüfte und Spalten ausfüllt, die Beweglichkeit der Gletſchermaſſe erhöht wird; ſie iſt dagegen am geringſten im Winter, wenn durch das Gefrieren alles Waſſers der ganze Gletſcher in compacte Eismaſſen verwandelt und durch Anfrieren an den Boden mit dieſem feſter vereinigt wird.

Durch Meſſungen, welche am Aaregletſcher angeſtellt wurden, hat man gefunden, daß das Fortrücken deſſelben in der Mitte ſeiner Länge ungefähr 250 Fuß jährlich, alſo im Durchſchnitt 9 Zoll den Tag beträgt. Am unteren Ende deſſelben beträgt das Vorrücken nur ungefähr 155 Fuß jährlich.

So lange die Thalsohle, auf welcher der Gletscher langsam herabgleitet, eine ziemlich gleichförmige Neigung beibehält, ist auch die Oberfläche des Gletschers, die Spalten abgerechnet, eine ziemlich ebene, wie dies z. B. der Zermattgletscher in seinen oberen Parthien, Fig. 204, und das mere de glace im Chamounithal in der Gegend des Montanvert, Fig. 206 erläutern.

Fig. 206.

Auf dem Kärtchen, Fig. 208 (a. S. 361), welches das untere Ende des mere de glace darstellt, ist der Montanvert mit *A* bezeichnet. Der Standpunkt, von welchem aus die Ansicht, Fig. 206, aufgenommen ist, liegt dem Montanvert gegenüber auf dem rechten Ufer des Gletschers.

Wenn nun aber große Unebenheiten in der Thalsohle vorkommen, namentlich wenn die bis dahin sanfte Neigung des Gletscherbodens an einer bestimmten Stelle steiler abzufallen beginnt, wie dies z. B. beim mere de glace an der in Fig. 208 mit *CC* bezeichneten Stelle der Fall ist, so muß nun eine

ſtärkere Zerklüftung des Eiſes eintreten. Bei dem raſcheren Voranſchreiten des unteren Gletſchertheiles muß an einer ſolchen Stelle ein Abbrechen der Eismaſſen ſtattfinden, welche den vorangegangenen nachſtürzen und ſo ein Chaos von Eisblöcken und Eisnadeln erzeugen, wie man es Fig. 207 ſieht, welche das mere de glace darſtellt, wie es von der in Fig. 208 mit *B* bezeichneten,

Fig. 207.

unter dem Namen des Chapau bekannten Stelle aus erſcheint.

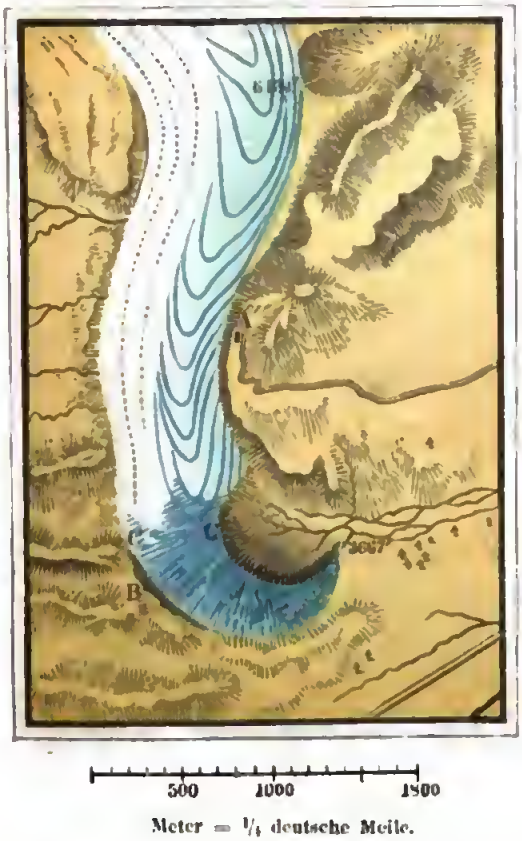
Im Hintergrunde der Fig. 207 erblickt man den Boſſongletſcher.

Die untere Gränze des Gletſchers wird ſich natürlich da finden, wo gerade ſo viel Eis an der vorderen Fläche wegſchmilzt, als die Maſſe des Gletſchers in gleicher Zeit vorrückt. In wärmeren Jahren wird ſich deshalb der Gletſcher etwas zurückziehen, und wenn mehrere kühlere und ſchneereiche Jahre auf einander folgen, ſo ſenkt ſich der Gletſcher weiter in das Thal herab.

Die Gletſcher müſſen ſich demnach in den Thälern der Hochgebirge weit unter die Gränze des ewigen Schnees herabziehen, wie dies auch in Fig. 203

bei Nro. 8 angedeutet ist. So reicht z. B. der untere Grindelwaldgletscher, welcher überhaupt unter allen Alpengletschern am tiefsten herabsteigt, bis zu einer Höhe von 3065 Fuß über den Meeresspiegel herunter, während die Schneegränze in jenen Gegenden ungefähr 8000 Fuß hoch ist.

Fig. 208.



Die Gletscher senken sich also in eine Region herab, welche schon eine üppige Vegetation zeigen kann, und so kommt es, daß man nicht selten die unteren Parthien der Gletscher von Getreidefeldern und von Baumwuchs umgeben findet.

Das nach Schlagintweit's Karte des Monte Rosa copirte Kärtchen des Lysgletschers, Fig. 210, ist sehr geeignet, einige der die Gletscherbildung bedingenden Umstände anschaulich zu machen. Das in der Tiefe ganz enge Lysthal breitet sich in der Höhe zu einem weiten Thalkessel aus, welcher auf der Nordseite durch den Lyskamm, im Osten durch den Kamm der Vincentpyramide und im Westen durch einen diesem parallel laufenden, fast eben so hohen Gebirgskamm eingeschlossen ist. Die ungeheure Schnee- und Firnmasse, welche sich in diesem hoch über der Schneegränze liegenden Thalkessel anhäuft, ist es nun, welche den Lysgletscher ernährt, von den Firnfeldern aus wie ein Strom langsam herabfließt und sich in das unten enger werdende Lysthal keilförmig einzwängt. Das untere Ende dieses Gletschers findet sich in einer Höhe von 6200 Fuß, die mittlere Höhe der Firnlinie, d. h. der Gegend, in welcher die Firnmasse in Gletschereis übergeht, beträgt ungefähr 9230 Fuß. Die mittlere Neigung der Firnmasse ist 13° 20′, die mittlere Neigung des Gletschers ist 18°.

Das untere Ende und die Seiten der Gletscher sind von Steinwällen umgeben, welche aus Schutt und den Trümmern der umgebenden Felsen zusammengesetzt sind und welche von der Eismasse des Gletschers fortgeschoben werden. Solche Wälle werden Moränen genannt, und zwar unterscheidet man Endmoränen oder Steinwälle, welche den Gletscher vorn, und Seiten-

moränen, welche ihn zu beiden Seiten einfaſſen. — Stoßen zwei aus höheren Seitenthälern herabkommende Gletſcher in demſelben Thalbett zuſammen, ſo daß ſie ſich zu einem einzigen Gletſcher vereinigen, ſo vereinigen ſich auch die einander zugewandten Seitenmoränen zu einer Mittelmoräne oder Gufferlinie, welche als ein langer Steinwall auf der Mitte des Gletſchers fortgeſchoben wird.

Die Bildung ſolcher Mittelmoränen wird ſehr gut durch die Anſicht des Unteraaregletſchers, Fig. 209, erläutert. Die links von dem Fuße

Fig. 209.

des Finſteraarhorns, rechts vom Fuße des Schreckhorns aus dem Firnfelde der Lauteraar hervorbrechenden Gletſcherſtröme vereinigen ſich in der Mitte zu einer gewaltigen Gufferlinie, welche bis ans Ende des Aaregletſchers anhält und in unſerer Figur als ein die beiden Gletſcherſtröme ſcheidender Steinwall erſcheint.

Dieſer Umſtand, daß die Gletſcher den Transport größerer und kleinerer Geſteinsmaſſen vermitteln und ſie weit von ihrem Urſprunge abſetzen, giebt ihnen in geologiſcher Beziehung eine große Bedeutung; doch iſt hier nicht der Ort, dieſen Gegenſtand weiter zu erörtern.

Die ungeheure Eismaſſe der Gletſcher muß bei ihrer Bewegung nothwendig bedeutende Reibungseffecte auf die Felſen des Thalgrundes und der Seitenwände veranlaſſen; die ſcharfen Ecken und Kanten der Felſen werden abgeſtumpft und gerundet, die Flächen werden geebnet und förmlich geſchliffen und

polirt, und da, wo zufällig einzelne loſe Geſteinsſtücke zwiſchen dem Gletſchereis und den ſeitlichen Felſen eingekeilt ſind, werden durch das gewaltſame Fortſchieben dieſer Geſteinsfragmente in den ſeitlichen Felswänden Ritzen und Strei-

Fig. 210.

KARTE DES LYSGLETSCHERS.

ſen hervorgebracht, welche die Wirkung der Gletſcher weſentlich von der abrundenden und glättenden Wirkung des fließenden Waſſers unterſcheiden.

Nach dem, was oben über die Bildung der Gletscher gesagt wurde, ist klar, daß der Wechsel der Jahreszeiten zu ihrer Bildung wesentlich ist; die Gletscher fehlen deshalb auch in den schneebedeckten Gebirgen der Tropen, weil dort das ganze Jahr hindurch fast dieselbe Temperatur herrscht, also das abwechselnde Thauen und Wiedergefrieren in solcher Weise, wie es zur Bildung von Gletschern nothwendig ist, nicht stattfinden kann. Im Himalayagebirge, wo die Temperaturschwankungen im Laufe des Jahres bereits sehr bedeutend sind, kommen auch mächtige Gletscher vor.

Am bedeutendsten sind die Gletscher in den arktischen Gegenden ausgebildet. Der zehnte Theil der Insel Island ist mit Gletschern bedeckt, und in Grönland sowohl wie in Spitzbergen reichen die Gletscher bis zum Meere hinab. Solche in das Meer vorgeschobene Gletschermassen werden öfters durch mancherlei Ursachen vom Lande losgelöst, und werden dann durch die Meeresströmungen als kolossale Eisberge weit von dem Orte ihrer Entstehung weggeführt.

149 **Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre.** Wenn man mit Hülfe einer Sammellinse Zunder durch Concentration der Sonnenstrahlen anzünden will, so wird man einen großen Unterschied finden, je nachdem man den Versuch Mittags anstellt, wo die Sonne hoch am Himmel steht, oder des Abends, wenn sie ihrem Untergange nahe ist; während sich der Schwamm des Mittags leicht entzündet, geschieht dieses am Abend entweder nur sehr schwierig oder gar nicht; die Intensität der von der Sonne zu uns kommenden Wärmestrahlen ist also in diesen beiden Fällen eben so ungleich wie die Intensität der Lichtstrahlen; Abends können wir die rothgelbe Scheibe der untergehenden Sonne wohl ansehen, Mittags aber wird das Auge durch den Glanz der Sonnenstrahlen geblendet.

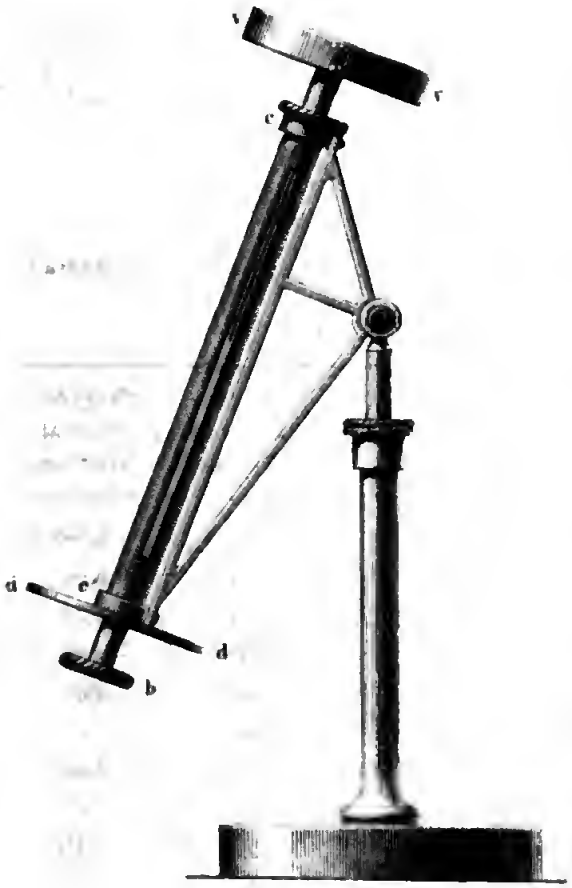
Dieser Unterschied in der Intensität der Licht- und Wärmestrahlen, welche von der Sonne zu uns kommen, rührt offenbar daher, daß der Weg, welchen die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurch zurückzulegen haben, bedeutend größer ist, wenn die Sonne dem Horizonte nahe steht; je größer aber der Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen, desto mehr Licht und Wärme wird absorbirt werden.

Um annähernd die Wärmeabsorption in der Atmosphäre zu bestimmen, hat Herschel ein Instrument construirt, welches er Heliometer genannt hat. Pouillet gab diesem Instrumente folgende vervollkommnete Einrichtung.

Das cylindrische Gefäß v, Fig. 211, ist aus dünnem Silberblech gemacht; sein Durchmesser beträgt ungefähr 1 Decimeter, seine Höhe 14 bis 15 Millimeter, so daß es ungefähr 100 Gramm Wasser aufnehmen kann. In dem Gefäße befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre durch einen das Gefäß verschließenden Kork in eine hohle Metallröhre hineinragt; diese Metallröhre geht durch zwei Hülsen bei c und c' so daß sie mit dem Gefäße v mittelst des Knopfes b beständig um ihre Axe gedreht werden kann; diese Umdrehung hat zum Zweck, das Wasser im Gefäße v in beständiger Bewegung zu erhalten, damit sich die Wärme in demselben möglichst gleichförmig verbreitet.

Die obere Fläche des Gefäßes v ist mit Ruß sorgfältig geschwärzt. Die Scheibe d hat denselben Durchmesser wie das Gefäß v; richtet man also das Instrument so gegen die Sonne, daß der Schatten des Gefäßes v gerade auf die Scheibe d fällt, so kann man sicher sein, daß die Sonnenstrahlen die vordere Fläche des Gefäßes rechtwinklig treffen.

Fig. 211.



Wenn die geschwärzte Oberfläche des Instrumentes rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so steigt die Temperatur des Wassers in v über die der Umgebung.

Wenn das Gefäß v sich erwärmt, so verliert es auch Wärme, theils durch Strahlung gegen den Himmelsraum, theils an die Umgebung. Wenn ein solcher Verlust nicht stattfände, so würde die durch den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung des Gefäßes v jedenfalls bedeutender sein als die, welche man beobachtet; um aber auf die Wärme schließen zu können, welche dem Instrumente wirklich durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist deshalb an den beobachteten Temperaturerhöhungen eine Correction anzubringen. Der Versuch wird deshalb in folgender Weise angestellt.

Wenn das Wasser in dem Gefäße die Temperatur der umgebenden Luft hat, wird das Instrument nahe an dem Orte, wo man es den Sonnenstrahlen aussetzen will, im Schatten aufgestellt, und zwar so, daß die Wärme von der berußten Fläche frei gegen den Himmel ausstrahlen kann. Man beobachtet nun fünf Minuten lang die Erkaltung; in der folgenden Minute bringt man einen Schirm vor die schwarze Fläche und richtet dann den Apparat so, daß die Sonnenstrahlen rechtwinklig einfallen, wenn man am Ende der sechsten Minute den Schirm wegnimmt. Während der folgenden fünf Minuten beobachtet man die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, indem man das Wasser des Gefäßes v in beständiger Bewegung erhält; am Ende der elften

Minute ſetzt man den Schirm wieder vor, zieht den Apparat an ſeine frühere Stelle zurück und beobachtet dann die während der folgenden fünf Minuten ſtattfindende Erkaltung.

Es ſei g die in fünf Minuten durch die Sonnenſtrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, r und r' die Temperaturabnahme, welche der Apparat in den fünf vorhergehenden und in den fünf folgenden Minuten erleidet, ſo iſt die Temperaturerhöhung t, welche durch die Sonnenſtrahlen hervorgebracht ſein würde, wenn kein Wärmeverluſt ſtattgefunden hätte:

$$t = g + \frac{r + r'}{2}.$$

Die folgende Tabelle enthält die Reſultate von fünf Beobachtungsreihen, welche Pouillet mit dem Heliometer angeſtellt hat.

Jahr und Tag der Beobachtungen.	Beobachtungsſtunden.	Dicke der durchlaufenen Luftſchicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.
Am 28. Juni 1837 . .	$7\frac{1}{2}$ Uhr Morgens.	1,860	3,80° C.
	$10\frac{1}{2}$ » Morgens.	1,164	4,00
	12 » Mittags.	1,107	4,70
	1 » Nachm.	1,132	4,65
	2 » »	1,216	4,60
	3 » »	1,370	»
	4 » »	1,648	4,00
	5 » »	2,151	»
	6 » »	3,165	2,40
Am 27. Juli 1837 . .	12 » Mittags.	1,147	4,90
	1 » Nachm.	1,174	4,85
	2 » »	1,266	4,75
	3 » »	1,444	4,50
	4 » »	1,764	4,10
	5 » »	2,174	3,50
	6 » »	3,702	3,35
Am 22. September 1837	12 » Mittags.	1,507	4,60
	1 » Nachm.	1,559	4,50
	2 » »	1,723	4,30
	3 » »	2,102	4,00
	4 » »	2,898	3,10
	5 » »	4,992	»

Jahr und Tag der Beobachtungen.	Beobachtungsstunden.	Dicke der durchlaufenen Luftschicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.
Am 4. Mai 1838 . . .	12 Uhr Mittags.	1,191	4,80
	1 » Nachm.	1,223	4,70
	2 » »	1,325	4,60
	3 » »	1,529	4,30
	4 » »	1,912	3,90
	5 » »	2,603	3,20
	6 » »	4,311	1,95
Am 11. Mai 1838 . .	11 » Morgens.	1,193	5,05
	12 » Mittags.	1,164	5,10
	1 » Nachm.	1,193	5,05
	2 » »	1,288	4,85
	3 » »	1,473	4,70
	4 » »	1,812	4,20
	5 » »	2,465	3,65
	6 » »	3,943	2,70

Die erste Columne dieser Tabelle bezeichnet Jahr und Tag der Beobachtungen, die zweite enthält die Beobachtungsstunden, die dritte die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht, die verticale Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt; die vierte enthält die beobachtete Temperaturerhöhung des Wassers im Heliometer.

Aus dieser Tabelle sehen wir nun zunächst, daß die Sonnenstrahlen um so mehr an wärmender Kraft verlieren, je weiter der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurückzulegen haben. Betrachten wir z. B. die Beobachtungen vom 11. Mai 1838, so finden wir, daß um 1 Uhr Nachmittags die Temperaturerhöhung 5,05° C. betrug; um 5 Uhr, wo die Dicke der durchlaufenen Luftschicht ungefähr doppelt so groß war, betrug die Temperaturerhöhung nur 3,65° C., sie war also um 1,4° C. geringer; für die dreifache Dicke der Luftschicht, ungefähr um 6 Uhr Abends, war die Temperaturerhöhung nur 2,7° C., also abermals um 0,9° C. geringer.

Man sieht daraus, daß die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen in einem etwas weniger raschen Verhältnisse abnimmt, als die Dicke der durchlaufenen Luftschicht wächst.

Aus solchen Beobachtungen die absolute Größe der atmosphärischen Absorption berechnen zu wollen, wie es Pouillet gethan hat, ist nicht wohl zulässig.

150 **Die nächtliche Strahlung.** Gleich wie der unmittelbar von den Sonnenstrahlen getroffene Boden eine höhere Temperatur annimmt als die umgebende Luft, so sinkt die Temperatur des Bodens auch unter die Lufttemperatur, wenn er des Nachts seine Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlt, ohne daß ihm von dorther ein Ersatz für seinen Wärmeverlust zukäme, wie dies unter andern die von Wells angestellten Versuche beweisen.

Wenn man in einer ruhigen heiteren Nacht kleine Massen von Heu oder Gras, Wolle, Baumwolle oder andere lockere, die Wärme schlecht leitende Substanzen auf den Boden legt, so findet man nach einiger Zeit, daß ihre Temperatur 6, 7 ja 8 Grad Celsius niedriger ist als die Temperatur der Luft, in einer Höhe von 6 bis 8 Fuß über dem Boden.

An Orten, an welche die Sonnenstrahlen nicht hindringen, von welchen aus aber ein großer Theil des Himmels sichtbar, ist dieses Sinken der Temperatur des Grases, der Baumwolle u. s. w. unter die Lufttemperatur schon 3 bis 4 Stunden nach Mittag merklich; aber erst die nächtliche Strahlung bringt eine bedeutende Erkaltung der Erdoberfläche hervor.

Wilson beobachtete des Nachts einen Unterschied von fast 9° C. zwischen der Temperatur der Schneeoberfläche und der Lufttemperatur. Scoresby und Parrot haben in den Polarzonen ähnliche Beobachtungen bei einer Lufttemperatur von — 20° C. gemacht.

Um die Gesetze der nächtlichen Strahlung zu ermitteln, hat Pouillet ein Instrument construirt, welches er Actinometer nennt und welches Fig. 212 dargestellt ist. Es besteht aus einem Thermometer, welches in einem Metallcylinder horizontal in solcher Weise angebracht ist, daß durch Schwanenfedern jede Wärmezuleitung von unten und von der Seite her gehindert wird. Wenn dieser Apparat in einer heiteren Nacht ins Freie gestellt wird, so muß das Thermometer natürlich bedeutend unter die Temperatur der umgebenden Luft sinken. Die folgende Tabelle enthält einige Resultate, welche Pouillet mit diesem Instrumente erhalten hat.

Fig. 212.

Tage.	Stunden.	Temperatur der Luft.	Temperatur des Actinometers.	Unterschiede.	Tage.	Stunden.	Temperatur der Luft.	Temperatur des Actinometers.	Unterschiede.
Vom 20. bis 21. April.					Vom 5. bis 6. Mai.				
20. April	8 Uhr Abds.	5,6	— 0,8	6,4	5. Mai	5 Uhr Abds.	25,5	19,9	5,6
	9 » »	4,5	— 2,0	6,5		6 » »	25,1	17,5	7,6
	10 » »	3,6	— 3,0	6,6		7 » »	23,1	15,0	8,1
21. April	4½ » Mrgs.	0,0	— 7,0	7,0		8 » »	22,9	13,9	9,0
	5 » »	0,0	— 7,0	7,0		9 » »	21,5	12,5	9,0
	5½ » »	0,1	— 6,5	6,6		10 » »	17,5	10	7,5
					6. Mai	4 » Mrgs.	12,1	5	7,1
						4½ » »	12,1	5	7,1
						5 » »	12	6	6,0

Diese Versuche zeigen uns, daß die Temperatur des Actinometers fast in derselben Weise abnimmt, wie die Temperatur der Luft, daß also bei niedriger Lufttemperatur eine eben so starke Strahlung gegen den Himmelsraum stattfindet wie bei hoher.

Diese Wirkungen der nächtlichen Strahlung beweisen, daß die Temperatur des Weltraums eine sehr niedrige sein müsse. Nach Fourier ist die Temperatur des Weltraums — 50° bis 60° C.; Arago hat aber darauf aufmerksam gemacht, daß sie jedenfalls weit geringer sein muß, da man ja auf dem Fort Reliance in Nordamerika eine Temperatur von — 56,7° C. beobachtet hat. Eine so bedeutende Temperaturerniedrigung wäre auf der Erdoberfläche nicht möglich, wenn die Temperatur des Weltraums nicht noch weit geringer wäre.

Pouillet hat die Temperatur des Weltraums zu — 142° C. bestimmt; da jedoch die Schlüsse, durch welche er zu diesem Resultate gelangte, sehr gewagt sind, indem ihre Grundlage höchst unsicher ist, so mag hier die Anführung dieses Resultats genügen.

In Bengalen, wo die Temperatur der Luft nie auf Null fällt, benutzt man die nächtliche Strahlung, um ziemlich bedeutende Quantitäten von Eis herzustellen. Von einer derartigen Eisfabrik, welche mehr als 300 Personen beschäftigt, giebt Williams folgende Beschreibung.

Ein wohl geebnetes, ungefähr 4 Acres (ungefähr 160000 Quadratmeter) haltendes Terrain ist in Quadrate von 1 bis 1½ Meter Seite getheilt, welche durch kleine Erdwälle von ungefähr 1 Decimeter Höhe eingefaßt sind.

Diese Abtheilungen nun werden mit Stroh belegt und darauf so viel flache Schüsseln mit Wasser gesetzt, als eben Platz haben. Während des Nachts bildet sich das Eis auf der Oberfläche des Wassers.

Diese Eisbildung ist nur eine Folge der Abkühlung, welche das, nach Leslie's Versuchen mit einem starken Ausstrahlungsvermögen begabte Wasser, durch die nächtliche Strahlung erleidet, während das Stroh als schlechter Wärmeleiter die Zuführung der Wärme vom Boden verhindert.

Daß hier die Eisbildung nicht, wie man früher glaubte, von der Verdampfung des Wassers herrührt, geht daraus hervor, daß ein etwas lebhafter Wind, welcher doch die Verdampfung begünstigt, das Gefrieren des Wassers in den Schüsseln verhindert.

Alles, was die freie Strahlung gegen den Himmelsraum hindert, hindert auch die Abkühlung des Bodens und der ihn bedeckenden Gegenstände. Wells spannte ein quadratisches baumwollenes Tuch von 2 Fuß Seitenlänge mittelst 4 Holzstäbchen 6 Zoll über dem Rasen in horizontaler Richtung aus. Unter diesem Tuche fand Wells die Temperatur des Rasens oft bis zu 6° C. höher als an benachbarten nicht geschützten Stellen.

Eine ähnliche Rolle, wie hier das Tuch, spielen die Wolken, welche das Himmelsgewölbe überziehen. In einer heitern Nacht war das Gras einer Wiese bereits 6,7° C. kälter als die Luft geworden, als sich Wolken bildeten; sogleich stieg die Temperatur des Grases wieder und zwar stieg sie um 5,6° C., ohne daß die Lufttemperatur sich geändert hätte.

Wenn in heiteren Nächten die Lufttemperatur um 2 bis 4° C. über dem Gefrierpunkt ist, wie dies im April und Mai bei uns leicht vorkommt, so ist es leicht möglich, daß die jungen zarten Blätter und Keime durch die nächtliche Strahlung unter den Gefrierpunkt erkaltet wurden, daß sie, was bei bedecktem Himmel nicht zu fürchten ist, erfrieren, ohne daß das Thermometer auf Null fällt.

Deshalb fürchten die Gärtner so sehr das Licht des Vollmondes, welcher Ende April oder in der ersten Hälfte des Mai stattfindet und welcher in Süddeutschland mit dem Namen des Stiernei, in Frankreich aber als lune rousse bezeichnet wird. Es ist aber nicht das Licht des Mondes, welches, wie man glaubte, den Pflanzen nachtheilig ist, sondern die Erkaltung durch nächtliche Strahlung, welche nur dann ungehindert stattfinden kann, wenn der Himmel wolkenfrei, also der Mond sichtbar ist.

151 **Temperatur des Bodens.** Wir haben bisher nur immer die Temperatur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden sein kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heißer, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In

den afrikaniſchen Wüſten ſteigt die Hitze des Sandes oft auf 50° bis 60° C. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenſtrahlen ihn nicht direct treffen können, die Pflanzen ſelbſt binden gewiſſermaßen eine große Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Waſſer verdunſtet; ſie erkalten aber, wie wir geſehen haben, bei ihrem großen Emiſſionsvermögen durch Ausſtrahlung der Wärme ſo ſtark, daß die Temperatur des Graſes oft 7 bis 9 Grad unter die der Luft ſinkt. Im Inneren der Wälder iſt die Luft beſtändig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieſelbe Weiſe abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft ſich niederſenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der oberſten Bodenſchichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, ſo verlieren die tieferen Bodenſchichten weniger ſchnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturſchwankungen weit geringer ſein als an der Oberfläche ſelbſt. In Deutſchland verſchwinden ſchon bei einer Tiefe von 2 Fuß die täglichen Temperaturſchwankungen, und in einer noch größeren Tiefe verſchwinden ſogar die jährlichen Variationen, ſo daß hier beſtändig eine Temperatur herrſcht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Seit 1671 hatte Caſſini bemerkt, daß die Temperatur der Keller des Obſervatoriums zu Paris während des ganzen Jahres ſich nicht ändert. Im Jahre 1730 machte Lahire dieſelbe Beobachtung. Der Graf Caſſini, Mitglied der Akademie der Wiſſenſchaften, überſah zuerſt die große Wichtigkeit dieſer Erſcheinung; im Jahre 1771 fing er an, ſie durch eine Reihe von Verſuchen näher zu unterſuchen und im Jahre 1783 ſtellte er gemeinſchaftlich mit Lavoiſier in den Kellern des Obſervatoriums einen ſehr empfindlichen Apparat auf, welcher entſcheidende Reſultate liefern mußte. Dieſer Apparat, welcher noch jetzt daſelbſt aufgeſtellt iſt, hat folgende Einrichtung.

Auf dem Boden des Kellers, in einer Tiefe von 27,6 Metern, erhebt ſich ein maſſiver Steinblock von 1,3 Meter Höhe, auf welchem ein mit feinem Sande gefülltes Glasgefäß ſteht; in dieſem Sande ſteckt die Kugel eines Thermometers, deſſen Theilung auf Glas geätzt iſt. Das Thermometer iſt von Lavoiſier ſelbſt conſtruirt und mit wohl gereinigtem Queckſilber gefüllt; ſeine Kugel hat 7 Centimer im Durchmeſſer, und die Röhre iſt ſehr fein, ſo daß ein Grad eine Länge von ungefähr 95 Millimetern einnimmt, daß alſo $^1/_{100}$ Grad noch faſt eine Länge von 1 Millimeter hat; man kann demnach noch die Hälfte von $^1/_{100}$ Grad ableſen. Das Thermometer geht nur bis auf 16° C., es hat aber oben ein kleines Behälter, in welches das Queckſilber hineinſteigen kann, wenn etwa die Temperatur über 16° C. ſteigen ſollte.

Dieſes Thermometer zeigt nun eine conſtante Temperatur von 11,82° C., und dieſe Temperatur hat ſich ſeit einem halben Jahrhundert nicht geändert.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturſchwankungen verſchwinden, iſt nicht in allen Gegenden dieſelbe; ſie hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vorzüglich aber auch von der Größe des Temperaturunterſchiedes

der heißesten und kälteſten Jahreszeit ab. In der heißen Zone Amerikas fand Bouſſingault ſchon in einer Tiefe von 5 bis 6 Decimetern eine conſtante Temperatur, weil hier die Wärme ziemlich gleichförmig über die verſchiedenen Zeiten des Jahres verbreitet iſt.

Wie mit zunehmender Tiefe die jährlichen Veränderungen der Temperatur abnehmen, erſieht man aus folgenden Reſultaten, welche die zu Brüſſel in dieſer Beziehung von 1834 bis 1837 angeſtellten Verſuche geliefert haben.

Tiefe.	Schwankungen der Temperatur im Laufe eines Jahres
0,19m	13,28°
0,45	12,44
1,75	11,35
1,00	10,58
1,95	7,59
3,90	4,49
7,80	1,13

Vergleicht man die Beobachtungen von Paris, Straßburg, Zürich und Brüſſel, ſo ergiebt ſich, daß die jährlichen Schwankungen ungefähr in einer Tiefe von 24 Metern verſchwinden.

Da die Wärme nur allmälig von der Oberfläche in die Tiefe eindringt, ſo iſt klar, daß in der Tiefe das Maximum der Temperatur ſpäter erreicht wird als in der Atmoſphäre, wie dies auch folgende von Forbes in Edinburgh in verſchiedenen Bodenarten angeſtellte Verſuche beſtätigen.

Bodenart.	Jährliche Temperaturſchwankung in einer Tiefe von				Zeitpunkt des Temperaturmaximums in einer Tiefe von			
	1m	1,9m	3,9m	7,8m	1m	1,9m	3,9m	7,8m
Trapp . .	10,53° C.	6,61°	3,5°	0,80°	6. Aug.	2. Sept.	17. Oct.	8. Jan.
Sand . .	11,23	8,30	4,19	1,16	31. Juli	24. Aug.	7. Oct.	30. Dec.
Sandſtein	9,58	7,72	5,22	2,28	5 Aug.	19. Aug.	11. Sept.	11. Nov.

Aus dieſen Verſuchen ergiebt ſich nun auch, wie ungleich die Leitungsfähigkeit verſchiedener Fels- und Bodenarten für die Wärme iſt. Trapp (Dolerit) beſitzt unter den drei genannten das geringſte, Sandſtein das beſte Leitungsvermögen. In gleicher Tiefe ſind im Sandſtein die Schwankungen der Temperatur nicht allein größer, ſondern das Maximum der Temperatur ſtellt ſich auch früher ein als im Sand und Dolerit.

In ſolchen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter dem Ge-

frierpunkte ist, muß in einer bestimmten Tiefe der Boden stets gefroren sein. So ist z. B. zu Jakutzk, dessen mittlere Jahrestemperatur — 9,7° C. ist, wie schon oben erwähnt wurde, trotz der bedeutenden Sommerwärme in einiger Tiefe der Boden beständig gefroren. In der Hoffnung, Wasser zu finden, legte Ermann hier einen Brunnen an, fand aber in einer Tiefe von 50 Fuß noch eine Temperatur von — 7,5° C.; dieser Brunnen wurde später durch Schergin bis auf 358 Fuß vertieft. Folgendes sind die Temperaturen des Bodens in verschiedenen Tiefen:

15,2m	— 7,5° C.
23,5	— 6,9
36,3	— 5,0
116,5	— 0,6

Innere Erdwärme. Wenn man in der Erdoberfläche über den Punkt 152
hinab vordringt, in welchem die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, so findet man eine mit wachsender Tiefe stets zunehmende Temperatur. In Bergwerken war diese Erscheinung schon lange bemerkt worden, ehe man noch regelmäßige Beobachtungen darüber anstellte; die Bergleute wußten, daß in der Tiefe nicht allein die Witterungsveränderungen nicht mehr fühlbar sind, sondern daß es daselbst auch außerordentlich warm ist.

Sauſſure fand zu Bex im Canton Waadt in einem Schachte, welcher seit drei Monaten von Niemandem befahren worden war, eine Temperatur von

14,4° C.	in	einer	Tiefe	von	312	Fuß
15,6	»	»	»	»	550	»
17,4	»	»	»	»	660	»

Später wurden ähnliche Messungen in den Bergwerken der verschiedensten Gegenden angestellt, und alle führten zu dem gleichen Resultate, wenn sich auch nicht an allen Orten das gleiche Gesetz der Wärmezunahme herausstellte. Die in dieser Beziehung gefundenen Ungleichheiten sind aber sehr erklärlich, wenn man bedenkt, daß die verschiedenen Felsmassen, in welchen die Schachte angelegt sind, nicht gleich gute Wärmeleiter sind, daß es nicht gleichgültig sein kann, ob man von der Höhe eines Berges, von der Sohle eines Thales oder von der Ebene aus niedergeht, daß die Tagwasser, welche in den Boden einsinken, mehr oder weniger störend auf die Regelmäßigkeit der Wärmezunahme einwirken müssen.

Wie in Schachten, so beobachtet man auch in Bohrlöchern eine mit der Tiefe stets wachsende Temperatur. Magnus fand z. B. in einem Bohrloch bei Rüdersdorf in der Mark Brandenburg, welches bis zu 730 Fuß unter den Meeresspiegel hinabreicht, folgende Temperaturen:

10,625° C.	in	einer	Tiefe	von	60′	
11,875	»	»	»	»	200	
14,212	»	»	»	»	400	
17,250	»	»	»	»	680	

In dem Bohrloche des arteſiſchen Brunnens zu Grenelle bei Paris fand man in einer Tiefe von 1650 Fuß die Temperatur von 27,7° C., in dem zu Neuſalzwerk in Weſtphalen in einer Tiefe von 2050 Fuß eine Temperatur von 32,75° C.

Im Durchſchnitt entſpricht ein Tiefergehen von 90 bis 100 Fuß einer Temperaturerhöhung von 1° C. Vorausgeſetzt, daß bei weiterem Eindringen in die Erdrinde die Temperatur nach dem gleichen Geſetze zunähme, müßte man bereits in einer Tiefe von 10000 Fuß die Temperatur des ſiedenden Waſſers finden, und in einer Tiefe von ungefähr fünf geographiſchen Meilen müßte eine Hitze herrſchen, bei welcher Gußeiſen und Baſalt flüſſig ſind.

Alle in dieſem Paragraphen beſprochenen Thatſachen deuten ſomit darauf hin, daß ſich das Innere der Erde in feurig-flüſſigem Zuſtande befinde. Dieſer glühende Erdkern wird von einer erſtarrten Hülle von verhältnißmäßig geringer Dicke, der feſten Erdrinde, eingeſchloſſen, deren Leitungsfähigkeit ſo gering iſt, daß die eigene Wärme des Erdkörpers auf der Oberfläche deſſelben nicht mehr merklich und ſein Inneres vor fernerer Erkaltung geſchützt iſt.

Nur bei vulcaniſchen Ausbrüchen und in heißen Quellen dringt die innere Erdwärme noch bis zur Oberfläche der Erde hervor.

Der Umſtand, daß die Erde eine der gegenwärtigen Lage ihrer Umdrehungsaxe und der gegenwärtigen Umdrehungsgeſchwindigkeit entſprechende Abplattung hat (ſiehe Seite 62), beweiſt, daß der ganze Erdkörper früher im flüſſigen Zuſtande war, und aus geologiſchen Unterſuchungen geht hervor, daß dies nur ein feurig-flüſſiger Zuſtand geweſen ſein könne. In jener Periode des feurig-flüſſigen Zuſtandes waren alſo Axenlage und Umdrehungsgeſchwindigkeit dieſelben wie jetzt.

Allmälig erſtarrte die Erdoberfläche, aber noch lange, während die feſte Erdrinde nach und nach an Dicke zunahm, war die innere Erdwärme auf ihrer Oberfläche merklich, wie aus den Pflanzenpetrefacten früherer Schöpfungsperioden hervorgeht.

Die paläozoiſchen Gebilde, denen auch die Steinkohlenlager angehören, zeigen eine auffallende Gleichförmigkeit in ihrer Ausbreitung über die Erde. In Europa und Aſien, in Amerika und Auſtralien, am Cap der guten Hoffnung wie in Grönland, kurz vom 75. Grade nördlicher bis zum 50. Grade ſüdlicher Breite enthalten ſie, wenn auch nicht immer ganz die gleichen, doch ſtets analoge Arten, deren Aehnlichkeit auf ähnliche phyſikaliſche Verhältniſſe ſchließen läßt, unter denen ſie lebten.

Eine beſonders hervorragende Rolle ſpielen in der Steinkohlenflora die Farn, welche, oft die Höhe mäßiger Bäume erreichend, faſt die Hälfte aller Pflanzenarten jener Periode bilden. Gegenwärtig finden ſich die baumartigen Farn nur noch in den Tropengegenden und zwar vorzugsweiſe auf Inſeln. Auf den tropiſchen Inſeln Weſtindiens bilden die Farn $^1/_{10}$, auf Neuſeeland $^1/_6$, auf Tahiti $^1/_4$, auf St. Helena ſogar $^1/_2$ der geſammten Vegetation. Danach aber iſt man berechtigt, die Flora der Steinkohlenzeit als eine Inſelflora mit tropiſcher Wärme zu bezeichnen. In der Steinkohlenperiode

war alſo eine tropiſche Wärme mit enormer Feuchtigkeit über die ganze Erde verbreitet.

Daß in jenen Zeiten überhaupt eine höhere Temperatur auf der Erdoberfläche herrſchte, erklärt ſich dadurch, daß die erkaltete feſte Erdrinde bei weitem noch nicht die Dicke hatte wie gegenwärtig. In der Steinkohlenperiode konnte die Dicke der feſten Erdrinde höchſtens 1000 Meter betragen, und in einer Tiefe von 100 Metern herrſchte bereits die Temperatur des ſiedenden Waſſers, was gegen jetzt eine directe Temperaturerhöhung der Climata um ungefähr $1^1/_2$ Grad auf der Erdoberfläche zur Folge haben mußte. Die gleichförmigere Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche wurde aber in der Steinkohlenperiode durch die Meere vermittelt, welche noch nicht wie heutzutage durch bedeutende Continente unterbrochen, durch mächtige Strömungen die Wärme der Aequatorialzone weit ungehinderter den höheren Breiten zuführen und ihren mildernden Einfluß weit mehr geltend machen konnten als jetzt.

Dazu kommt noch, daß bei dem maſſenhaften Zuſtrömen warmen Waſſers gegen die Pole hin bedeutende Nebel und Wolkenmaſſen ſich bilden mußten, welche die Polargegenden wie eine ſchützende Hülle umgaben und die erkaltende Wirkung der nächtlichen Strahlung hinderten.

Zur paläozoiſchen Zeit war die Temperatur der Aequatorialzone wahrſcheinlich nicht viel höher als jetzt, während in höheren Breiten auf den von warmem Waſſer umſpülten Inſeln ſich eine tropiſche Flora entwickeln konnte.

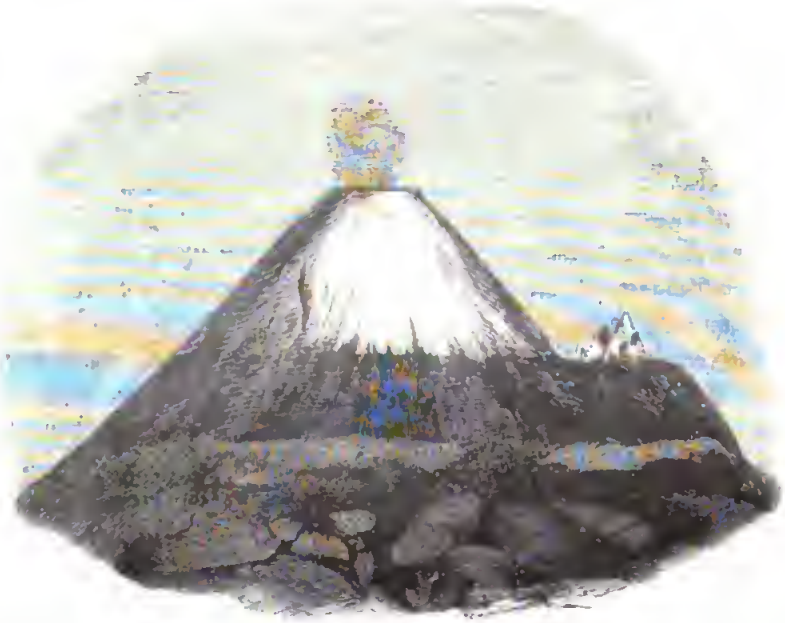
Gegenwärtig iſt die ſchlechtleitende feſte Erdrinde ſo dick, daß keine merkliche Erkaltung des Erdkernes mehr ſtattfinden kann, und daß Gleichgewicht ſtattfindet zwiſchen der Wärmemenge, welche die Erdoberfläche von der Sonne empfängt, und derjenigen, welche ſie wieder gegen den Himmelsraum ausſtrahlt.

Vulcane. In verſchiedenen Gegenden der Erde findet man Berge von 153
mehr oder weniger kegelförmiger Geſtalt, auf deren Gipfel ſich eine trichterförmige Vertiefung, der Krater, befindet. Dieſer Krater hat meiſt eine kreisrunde Geſtalt und der Kegel, welcher ihn trägt, beſteht größtentheils aus aufgeſchütteten Materialien, weshalb er als Aſchenkegel bezeichnet wird. Als beſonders charakteriſtiſche Beiſpiele ſolcher Kraterberge, welche man als Vulcane bezeichnet, mag der Cotopaxi in Südamerika, Fig. 213 und der Vulcan der Inſel Barren im Golf von Bengalen, Fig. 214 (a. f. S.) dienen.

Eine Erſcheinung, welche derartigen Bergen ein beſonderes Intereſſe verleiht, ſind die vulcaniſchen Ausbrüche oder Eruptionen, welche nach mehr oder minder langen Perioden der Ruhe ſtattfinden und deren normaler Verlauf im Weſentlichen folgender iſt: Nach vorausgegangenem unterirdiſchem Getöſe, welches von einer Erſchütterung des Bodens begleitet iſt, entſteigen dem Krater ungeheure Maſſen von Waſſerdampf, während zugleich ein Auswurf von erdigen, ſteinigen, zermalmten und zerriebenen Maſſen, ſogenannter vulcaniſcher Aſche, ſtattfindet. Häufig ſind dieſe Erſcheinungen noch von dem Hervorbrechen geſchmolzener Geſteinsmaſſen, der Lava begleitet, welche, meiſt aus ſeitlichen Spalten hervorquellend, an dem Abhange des Berges herabfließen.

In solchen Fällen, wo man, z. B. wie auf Stromboli, selbst während der Eruption, in den Krater hinabsehen kann, erblickt man denselben zum Theil mit geschmolzener rothglühender Lava erfüllt. Mächtige Dampf- und Gas-

Fig. 213.



blasen steigen durch die zähflüssige Masse in die Höhe, platzen mit einem puffenden Geräusch und lassen dicke weiße Dampfwolken austreten, welche glühende Lavafetzen mitreißen. Im Krater Kirauea auf Hawai befinden sich glühende Lavaseen von 500 Meter Durchmesser, welche, beständig auf- und niederwogend, eine förmliche Brandung an den Kraterwänden erzeugen.

Fig. 214.

Die dem Krater entsteigenden Dämpfe breiten sich über demselben zu einer mächtigen Wolke aus, welcher unter Blitz und Donner ein wolkenbruchartiger Regen entströmt, der in der Umgebung oft mehr Schaden anrichtet als die von dem Berge ausgeworfenen Schlackenmassen.

Die beim Platzen der Dampfblasen in die Höhe geschleuderten Schlacken

bilden eine glühende Garbe, welche der pinienförmig ausgebreiteten Wolke gleichsam als Stamm dient. Dazu kommt noch, daß die aufsteigenden Dämpfe durch die glühende Lava des Kraters erleuchtet, gleichfalls wie eine Feuersäule erscheinen.

Eigentliche Flammen brechen aus dem Krater nicht hervor.

Es ist hier nicht der Ort zu einer ausführlicheren Besprechung vulcanischer Eruptionen, welche mehr in das Gebiet der Geologie gehört; wir verweisen in dieser Beziehung auf Vogt's Lehrbuch der Geologie, Braunschweig 1854, welchem wir auch in der obigen Darstellung gefolgt sind. Hier kommen die vulcanischen Erscheinungen nur als Beispiele der Reaction in Betracht, welche der innere flüssige Kern der Erde auf ihre äußere Rinde und Oberfläche ausübt.

Während der Eruption steht der Krater des Vulcans offenbar durch einen Canal mit dem Innern der Erde in Verbindung. In diesen Canal wird die flüssige Lavamasse durch den Druck gespannter Gase und Dämpfe gehoben, welche endlich in Form von Blasen durch die geschmolzene Masse hindurch ihren Ausweg in die Atmosphäre finden.

Die meisten Vulcane bieten abwechselnd Perioden der Ruhe und der Thätigkeit dar, und es scheint, daß die Intensität der Ausbrüche einigermaßen im umgekehrten Verhältniß zur Häufigkeit derselben steht. Die heftigsten Ausbrüche finden stets nach einer längeren Periode der Ruhe statt. Den Vesuv betrachteten die Alten für einen ausgebrannten Vulcan, bis der pompejanische Ausbruch seine Thätigkeit mit einer Eruption wieder eröffnete, welche bis jetzt ihres Gleichen an Furchtbarkeit nicht wieder gehabt hat.

Auch die Höhe der Vulcane scheint mit der Häufigkeit der Ausbrüche in einiger Beziehung zu stehen, indem bei niedrigen Vulcanen die Ausbrüche meistens häufiger sind als bei höheren. Die Eruptionen des 925 Meter hohen Stromboli finden täglich, ja fast stündlich statt. Bei dem 1200 Meter hohen Vesuv vergeht fast kein Jahr ohne Ausbruch. Längere Intervalle bietet der 3400 Meter hohe Aetna und der 5963 Meter hohe Cotopaxi zeigt durchschnittlich in einem Jahrhundert nur eine Eruption.

Erdbeben, Erderschütterungen, ähnlich denen, welche wir bereits als ein 154
vulcanische Ausbrüche begleitendes Phänomen kennen lernten, treten hier und da mit einer Heftigkeit auf, welche die furchtbarsten Verheerungen anzurichten im Stande ist, wie dies unter anderen folgende Beispiele darthun.

Nachdem Lima schon im Jahre 1682 durch eine Erderschütterung zerstört worden war, wurde die unglückliche Stadt am 28. October 1716 abermals durch ein Erdbeben heimgesucht. In wenigen Minuten wurden 11 Kirchen, 38 Klöster und 4000 Häuser umgestürzt und in einen Trümmerhaufen verwandelt. Von den 53000 Einwohnern retteten verhältnißmäßig wenige ihr Leben.

Durch das Erdbeben, welches am 1. November 1755 in Lissabon stattfand, wurden außer anderen Gebäuden allein 32 der größten Kirchen umgestürzt und 30000 Menschen unter den Trümmern begraben.

In den Monaten Februar und März des Jahres 1783 wurden Cata-

brien und Sicilien faſt täglich durch heftige Erdſtöße erſchüttert, deren erſter am 5. Februar Meſſina zerſtörte. In jener Unglücksperiode wurden in den genannten Gegenden 400 Städte und Dörfer zerſtört, wobei im Ganzen 100000 Menſchen umgekommen ſein ſollen.

Die Stadt Carracas wurde in den Jahren 1766, 1797 und 1812 durch Erdbeben verwüſtet; Sicilien wurde 1818 abermals durch ein Erdbeben heimgeſucht, welches namentlich die Stadt Catanea zerſtörte. Im Jahre 1822 fanden heftige Erdbeben in Syrien und in Chili ſtatt u. ſ. w.

Wohl jedes Jahrhundert hat eine Anzahl heftiger Erdbeben aufzuweiſen, während kein Jahr vergeht, an welchem nicht an verſchiedenen Orten der Erde ſchwächere Erdbeben vorkommen.

Man hat beinahe ohne Ausnahme bemerkt, daß die heftigſten Erdbeben zugleich die kürzeſten ſind; die verheerendſten Stöße ſind gewöhnlich nur das Werk weniger Augenblicke. Liſſabon wurde im Jahre 1755 durch drei Stöße zerſtört, welche in einem Zeitraum von 6 Minuten auf einander folgten. Meſſina wurde im Jahre 1783 durch zwei und Carracas im Jahre 1812 durch drei Stöße zerſtört, welche letztere innerhalb einer Minute ſtattfanden.

Jenen Hauptſtößen folgen gewöhnlich andere, minder heftige Bewegungen, welche ſich Wochen, ja Monate lang wiederholen. So wurden die Bewohner von Liſſabon nach der erwähnten Kataſtrophe noch ein Jahr lang durch ſtets wiederkehrende Erdſtöße in Furcht und Schrecken erhalten, und nach dem Erdbeben, welches im Jahre 1783 Meſſina zerſtörte, war der Boden in Calabrien noch ſechs Jahre hindurch in beſtändiger Aufregung.

Im Centralpunkte eines Erdbebens erleidet der Boden zunächſt heftige Stöße in verticaler Richtung, welche oft noch mit Bewegungen in horizontaler Richtung combinirt erſcheinen. So ſoll z. B. im Jahre 1783 der Erdboden in Calabrien während der Erdſtöße in einer Bewegung geweſen ſein, wie Sand, welcher auf einen Tiſch geſtreut iſt, der von unten geſtoßen und zugleich in horizontaler Richtung hin und her gerüttelt wird. Menſchen und Wohnungen wurden durch die Erdſtöße in die Höhe geſchleudert, um in einiger Entfernung wieder nieder zu fallen.

Aehnliche Erſcheinungen werden auch von dem Erdbeben zu Riobamba (1797) berichtet.

Von dem Orte aus, welcher von den Hauptſtößen eines Erdbebens getroffen wird, verbreitet ſich die Erſchütterung des Bodens, meiſt wellenartig ſich ausbreitend, auf größere Entfernungen hin. So wurde z. B. das Erdbeben von Liſſabon wenigſtens auf der ganzen pyrenäiſchen Halbinſel verſpürt und der durch daſſelbe veranlaßte Wellenſchlag im atlantiſchen Ocean verbreitete ſich bis nach Weſtindien hin.

Das Erdbeben, welches am 15. Juli 1855 im Viſper Thal (Canton Wallis) Häuſer und Kirchen einſtürzen machte, war noch in Genf, Neufchatel, Baſel und Luzern ſtark genug, um leichte Beſchädigungen an Gebäuden her-

vorzubringen und wurde überhaupt noch bis Genua, Valence, Dijon, Metz, Wetzlar, Koburg und Bregenz verspürt.

Durch starke Erdbeben werden nicht selten mehr oder weniger bedeutende Spalten im Boden erzeugt. So entstanden z. B. bei dem schon mehrfach erwähnten Erdbeben von Calabrien Erdspalten, welche über eine halbe Stunde lang, an 100 Fuß breit und ebenso tief waren. In einzelnen Fällen zeigten die beiden Lippen solcher Spalten eine merkliche Höhendifferenz, so daß die eine oft 15 Fuß höher war als die andere, es mußte also der Boden auf der einen Seite entweder gehoben oder auf der anderen gesenkt worden sein.

Nach dem Erdbeben von Chili am 20. Februar 1835 war die Oberfläche der Felsen auf der Insel Quiriquina bei Conception wie Glas zersplittert und in einen Trümmerhaufen verwandelt.

Bei dem Erdbeben von Riobamba entstanden Klüfte, die sich abwechselnd öffneten und wieder schlossen und in welchen ganze Züge von Reitern und beladenen Maulthieren verschwanden.

Die herrschende Ansicht über Ursprung und Wesen der Erdbeben geht dahin, sie als eine mit dem Vulcanismus in engster Beziehung stehendes Phänomen zu betrachten, sie also gleichfalls einer Reaction des feurig-flüssigen Erdkernes gegen die ihn einhüllende feste Rinde zuzuschreiben. Dies ist denn auch der Grund, warum die Erdbeben gerade hier besprochen werden.

Wenn auch bedeutende Erdbeben in nicht vulcanischen Gegenden vorkommen, so sind doch solche Länder, in welchen sich gewaltige Vulcane vorfinden, wie Unteritalien und Südamerika, vorzugsweise von Erdbeben heimgesucht, und die allgemeine Meinung des Volkes geht dahin, daß die vulcanischen Kamine gleichsam als Sicherheitsventile für die im Innern der Erde wirksamen explosiven Gewalten zu betrachten seien.

Bei dem furchtbaren Erdbeben von Riobamba war dieser Zusammenhang besonders auffallend. Nachdem der Vulcan von Pasto Monate lang mächtige Rauchwolken ausgestoßen hatte, verschwanden dieselben plötzlich am 2. Februar 1797. Im Augenblicke des Verschwindens ereignete sich das Erdbeben, dessen Mittelpunkt, Riobamba, in gerader Linie 60 Stunden von dem Vulcan entfernt ist.

Der Vesuv war vom Jahre 1751 an ganz besonders thätig gewesen, bis im Januar 1755 eine plötzliche Ruhe eintrat. Dieser Ruhe folgte eine ununterbrochene Reihe von Erdbeben. Im Februar wurden die griechischen Inseln sowie das Küstenland des Mittelmeeres, im Juni Persien, im August England und am 1. November endlich Lissabon und die pyrenäische Halbinsel erschüttert.

Es ist aus mannigfachen Gründen wahrscheinlich, daß in den trachytischen und doleritischen Massen der Cordilleren Südamerikas zahlreiche Höhlungen vorhanden sind; darauf gründet Bouſſingault die Ansicht, daß die Erdbeben jener Gegenden wenigstens zum Theil durch ruckweise Senkung oder durch das Herabstürzen schwach gestützter Felsmassen veranlaßt würden.

Volger, welcher die Erscheinungen des Erdbebens von Visp im Jahre

1855 beſonders gründlich ſtudirt hat, tritt der Lehre vom vulcaniſchen Urſprung der Erdbeben entſchieden entgegen und ſucht ſie auf eine allmälige Auflöſung der Geſteine zurückzuführen.

Die atmoſphäriſche Feuchtigkeit, welche kohlenſäurehaltig in das Innere der Gebirge eindringt, nagt unaufhörlich an den Schichten, auf welchen ſie rinnt; ganz beſonders ſind dieſem Auslaugungsproceß der kohlenſaure Kalk, namentlich aber der Gyps unterworfen. Durch die Quellen werden den Gebirgen enorme Maſſen von kohlenſaurem Kalk und Gyps entführt.

Die Menge des kohlenſauren Kalkes, welche der Rhein jährlich an der Stadt Baſel vorüberführt, würde, als dichter Kalkſtein berechnet, einen Würfel von 800 Fuß Seite darſtellen, und dieſe Maſſe iſt den Gebirgen der Schweiz entnommen.

Noch ungleich bedeutendere Maſſen werden durch zahlreiche warme Quellen den Gypslagern in Wallis entführt. Die Lorenzquelle allein entführt dem Gebirge jährlich eine Gypsmaſſe, welche als Gypsfelſen berechnet einen Raum von 60000 Kubikfuß einnehmen würde; dieſe einzige Quelle muß alſo im Laufe eines Jahrhunderts einen Hohlraum zwiſchen den Gebirgsſchichten erzeugen, welche bei einer Quadratmeile Flächeninhalt etwa $^1/_4$ Fuß Höhe haben müßte.

Derartige ununterbrochene unterirdiſche Auslaugungen müſſen aber ein allmäliges Einſinken und Niederbrechen der oberen Schichten zur Folge haben, welches dann die unmittelbare Urſache des Erdbebens iſt.

155 **Quellentemperatur.** Das als Regen, Schnee, Thau u. ſ. w. aus der Atmoſphäre auf den Boden gelangende Waſſer kehrt theilweiſe durch Verdunſtung wieder in die Luft zurück, theilweiſe wird es durch den Vegetationsproceß conſumirt, ein ſehr bedeutender Theil aber ſickert in den Boden ein, um an tieferen Stellen als Quellen hervorzubrechen. Das Waſſer ſickert in einem lockereren Boden nieder, bis es auf eine Lehm- oder Felſenſchicht gelangt, die ein weiteres Vordringen hindert; entweder wird es nun auf dieſen mehr oder weniger geneigten Schichten fortfließen, bis es am Ausgange derſelben als Quelle erſcheint, oder es folgt den Felsſpalten und Klüften, auf welchen es endlich wieder einen Ausweg findet. Jedenfalls nimmt das Waſſer allmälig die wenig veränderliche Temperatur der Erd- und Felsſchichten an, mit denen es längere Zeit in Berührung ſteht, und ſo kommt es denn, daß die Temperatur der Quellen faſt das ganze Jahr hindurch ziemlich conſtant bleibt, wenigſtens wenn ſie einigermaßen waſſerreich ſind. Die Temperaturſchwankungen ſolcher Quellen betragen im Laufe eines Jahres höchſtens 1 bis 2 Grad; ihre höchſte Temperatur erreichen ſie auf unſerer Hemiſphäre im September, ihre niedrigſte im März.

Die mittlere Temperatur dieſer Quellen iſt, wie die der Erdſchichten, aus welchen ſie kommen, meiſt wenig von der mittleren Lufttemperatur des Ortes verſchieden, an welchem ſie hervorbrechen; in der Regel iſt die Quellentemperatur etwas höher, und dieſer Ueberſchuß ſteigt in höheren Breiten, wie Wahlenberg gezeigt hat, auf 3 bis 4°; dagegen machen es die Beobachtungen, welche

in der heißen Zone gemacht wurden, wahrscheinlich, daß dort die mittlere Quellentemperatur etwas niedriger ist als die mittlere Lufttemperatur.

Es ist demnach klar, daß die Wärme der Quellen nicht allein nach den Polen hin, sondern auch mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt, wie auch die folgenden Beispiele darthun.

Quelle zu:	Höhe über dem Meeresspiegel.	Temperatur.
Enontekis (Lappland)	1602 par. Fuß	1,7°R
Umea (Schweden)	100 » »	2,9
München	1540 » »	9
Krün (Isarthal)	2520 » »	7,5
Rigi Kaltbad	4404 » »	6,3
Erste Isarquelle	5726 » »	3,4
Hochther (Paß zwischen Moll- und Rauristhal)	8128 » »	1,9
Im Stollen der Goldzeche (Bergwerk auf der großen Fleuß im Mollthale)	8858 » »	0,8

Die hier zusammengestellten Quellentemperaturen sind theils von Wahlenberg, theils von Schlagintweit beobachtet (Pogg. Annal. LXXVII).

Wenn das Wasser bis zu größeren Tiefen unter die Erdoberfläche eindringt und dann auf Canäle trifft, in welchen es durch den hydrostatischen Druck wieder in die Höhe gehoben wird, so wird es aus der Tiefe auch eine sehr hohe Temperatur mitbringen, wie man sie in der That auch an solchen Quellen beobachtet, welche mit dem Namen der Thermen bezeichnet werden. In der folgenden Tabelle sind die Temperaturen einiger bekannteren Thermalquellen angegeben.

Pfäffers	37,2°C.	Baden-Baden	67,5°C.
Wildbad	37,5	Wiesbaden	70,0
Barrèges	40,0	Karlsbad	75,0
Aachen	41 bis 57,5	Burtscheid	77,5
Bath	46,25	Katharinenquellen im Kaukasus	88,7
Leuck	50,2	Trincheros in Venezuela	97
Aix in Savoyen	54,3		
Ems	56,25		

Solche Quellen sind ein unwiderlegliches Zeugniß für die höhere Temperatur, welche im Inneren des Erdkörpers herrscht.

Die periodischen Springquellen Islands. Ganz besonders merk- 156
würdige Erscheinungen bieten manche der zahlreichen heißen Quellen Islands

dar. Die ganze Insel ist vulcanischen Ursprungs. Unabsehbare Schneefelder decken die Kuppen der isländischen Gebirge, von denen sich gewaltige, meilenbreite Gletscher herabsenken. Ungeheure Wassermassen brechen aus den Spalten und Gewölben dieser Gletscher hervor oder stürzen sich in Caseaden von den Eiswänden herab. Trifft nun das abziehende Wasser auf vulcanische Klüfte und Spalten, so wird es durch dieselben jenen Tiefen zugeführt, wo unter dem Einfluß der vulcanischen Bodenwärme eine Erhitzung und Dampfbildung erfolgt. Das Wasser, durch die vereinigte Kraft der Dämpfe und des hydrostatischen Druckes gehoben, bricht alsdann in mächtigen Thermen hervor.

Die isländischen Mineralquellen zeichnen sich durch einen großen Gehalt an Kieselerde aus; sie zerfallen in saure und alkalische Kieselerdequellen, und die letzteren sind es, deren großartige und eigenthümliche Erscheinungen wir hier näher betrachten wollen.

Die äußerst schwach alkalische Reaction dieser Quellen rührt von Schwefelalkalien, sowie von schwefelsaurem Kali und Natron her, welche der Kieselerde zum Lösungsmittel dienen und die für diese Quellen so charakteristischen Bildungen von Kieseltuff bedingen.

Die ausgezeichnetste unter den periodischen Springquellen Islands ist ohne Zweifel der große Geysir. Auf dem Gipfel eines aschgrauen aus Kieseltuff gebildeten Kegels befindet sich ein flaches Becken von 48 Fuß Durchmesser, in dessen Mitte sich ein Rohr von 9 bis 10 Fuß Durchmesser bis in eine Tiefe von 70 Fuß vertical hinabsenkt.

Fig. 215.

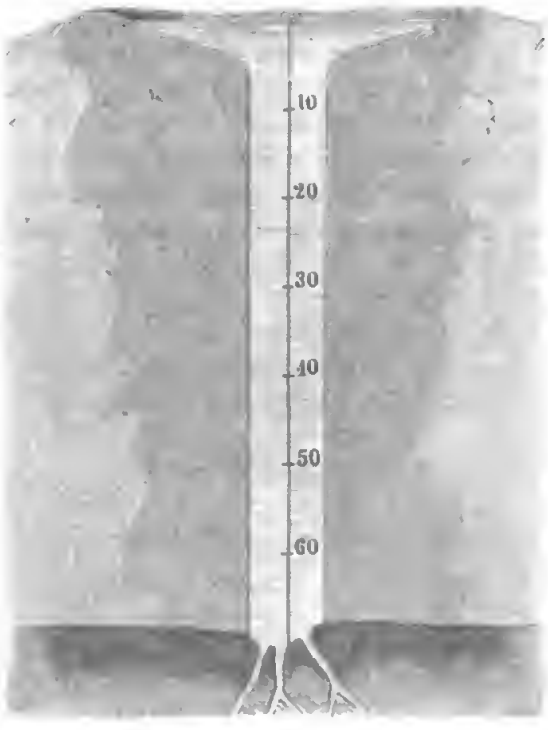


Fig. 215 stellt einen verticalen Durchschnitt des Geysirrohres dar. Auf dem Maßstab in der Mitte ist die Tiefe unter dem Spiegel des Beckens, in Fußen ausgedrückt, aufgetragen.

Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist das Becken mit krystallklarem, seegrünem Wasser gefüllt, welches in kleinen Abflußrinnen auf der Ostseite des Kegels abfließt.

Von Zeit zu Zeit läßt sich ein unterirdisches Donnern hören, das Wasser im Becken schwillt an und große Dampfblasen steigen auf, welche an der Oberfläche zerplatzen und das siedende Wasser einige Fuß hoch in die Höhe werfen.

Darauf wird es wieder still. In regelmäßigen Zwiſchenräumen von 80 bis 90 Minuten wiederholt ſich dieſelbe Erſcheinung, bis endlich eine großartige Eruption erfolgt. Das Waſſer im Baſſin ſchwillt höher an, und nach wenigen Augenblicken ſchießt ein Waſſerſtrahl, in feinen, blendend weißen Staub gelöſt, ſenkrecht bis zu einer Höhe von 80 bis 100 Fuß in die Luft; der erſten folgt eine zweite, eine dritte noch höher aufſteigende Waſſerſäule nach. Ungeheure Dampfwolken wälzen ſich über einander und verhüllen zum Theil die Waſſergarbe. Kaum iſt der letzte, alle vorhergehenden an Höhe übertreffende, manchmal Steine aus der Tiefe mit emporſchleudernde Waſſerſtrahl in die Höhe geſchoſſen, ſo ſtürzt die ganze Erſcheinung, nachdem ſie nur wenige Minuten gedauert hatte, in ſich zuſammen, und nun liegt das vorher ganz mit Waſſer gefüllte Baſſin trocken vor den Augen des herannahenden Beobachters, der in dem Rohre, erſt 6 Fuß unter dem Rande, das Waſſer ruhig und ſtill erblickt.

Allmälig fängt das Waſſer im Rohre wieder an zu ſteigen und nach einigen Stunden iſt es wieder bis zum Ueberlaufen gefüllt. Die Detonationen ſtellen ſich aber erſt 4 bis 6 Stunden nach der Entleerung des Beckens wieder ein, und nehmen alsdann ihren regelmäßigen Verlauf bis zur nächſten großen Eruption, welche oft mehr als einen Tag auf ſich warten läßt.

Fig. 216 (a. f. S.) ſtellt eine Eruption des großen Geyſirs dar. Sie iſt nach einem naturgetreuen Oelgemälde copirt, welches Bunſen von ſeiner isländiſchen Expedition mitbrachte.

Einige hundert Schritte ſüdweſtlich vom großen Geyſir liegt eine zweite periodiſche Springquelle, welche der Strokkr (das Butterfaß) genannt wird. Der Strokkr hat keinen Eruptionskegel von Kieſeltuff; ſein Rohr iſt trichterförmig und hat oben einen Durchmeſſer von 7 Fuß, während es in einer Tiefe von 25 Fuß nur noch 9 Zoll weit iſt. In einer Tiefe von 40 Fuß ſtößt das Senkblei auf Hinderniſſe.

Das Waſſer des Strokkr ſteht 9 bis 12 Fuß unter der Mündung des Trichters; es hat alſo keinen Abfluß und iſt in einem beſtändigen heftigen Sieden begriffen. Die Eruptionen des Strokkr ſind häufiger als die des großen Geyſirs, während die jedesmal geförderte Waſſermaſſe ungleich geringer iſt. Durch die Ausbrüche des Strokkr werden ſtoßweiſe nach einander mehrere in den feinſten Staub aufgelöſte Waſſerſtrahlen bis zu einer Höhe von 120 bis 150 Fuß in die Höhe geſchleudert, bis nach einigen Minuten kleinere Strahlen das Schauſpiel beſchließen.

Ganz in der Nähe des großen Geyſirs und des Strokkr liegen noch gegen vierzig heiße Quellen, welche zum Theil gleichfalls periodiſche Stoßquellen ſind, theils tiefe mit ruhigem, dunkelgrünem, heißem Waſſer angefüllte Baſſins bilden. Die bedeutendſte unter den kleineren Springquellen ſpritzt ihr Waſſer 20 bis 30 Fuß hoch.

Der Litli Geyſir (kleine Geyſir) gehört einer anderen Thermengruppe an, welche acht Meilen ſüdweſtlich vom großen Geyſir liegt. Die Eruptionen des kleinen Geyſirs, welche in Zwiſchenräumen von $3^3/_4$ Stunden ſtattfinden, ſind nicht durch ein ſtoßweiſes, auf eine kurze Zeitdauer beſchränktes Hervorbre-

chen des siedenden Wassers charakterisirt. Ihre Annäherung giebt sich durch eine allmälig zunehmende Dampfentwickelung und durch ein unterirdisches plätscherndes Geräusch zu erkennen. Dann dringt kochender Wasserschaum hervor, der in langsamen Perioden steigend und fallend sich immer höher und höher

Fig. 216.

erhebt, bis er nach etwa zehn Minuten, wo die Erscheinung ihre größte Entwickelung erreicht hat, in vertical und seitlich aufspritzenden Garben gegen 30 bis 40 Fuß hoch emporsteigt. Dann nehmen die Strahlen an Umfang und Höhe in ähnlicher Weise ab, wie sie sich erhoben, bis die Quelle nach abermals zehn Minuten zu ihrer vorigen Ruhe zurückgekehrt ist.

157 **Erklärung des Geysirphänomens.** Schon Lottin und Robert, welche im Jahre 1836 Island besuchten, haben gefunden, daß die Temperatur

der Geyſircolonne von oben nach unten zunimmt. — Bunſen und Descloizeaux, welche im Jahre 1846 mehrere Monate in Island zubrachten, haben durch zahlreiche Meſſungen die Temperaturverhältniſſe des großen Geyſirs auf das Genaueſte ermittelt, und dadurch den Grund zu der ſchönen Theorie der Geyſir-Eruptionen gelegt, durch welche Bunſen die Wiſſenſchaft bereichert hat.

An der Oberfläche iſt die Temperatur des Waſſers im Geyſirbecken ziemlich veränderlich und von den Witterungsverhältniſſen abhängig; im Mittel beträgt ſie 85° C.

Innerhalb des Geyſirrohres ſteigt die Temperatur, kleine Störungen abgerechnet, an jedem Punkte der Säule fortwährend von einer Eruption bis zur nächſten, wie man aus folgender Tabelle erſehen kann, welche die Reſultate einer Beobachtungsreihe enthält.

Höhe über dem Boden.	23 Stunden	5¼ Stunden	10 Minuten	Siedpunkt für den jedesmaligen Druck.
	vor einer großen Eruption.			
1 Fuß	123,6° C.	127,5° C.	126,5° C.	136,0° C.
30 »	113,0	120,4	121,8	124,2
44 »	85,8	106,4	110,0	117,4
60 »	82,6	85,2	84,7	107,0

Von unten her tritt alſo durch Canäle, deren Verlauf man nicht weiter verfolgen kann, das weit über 100° erhitzte Waſſer langſam in das Geyſirrohr ein, während an der Oberfläche des Beckens eine fortwährende Abkühlung ſtattfindet. Eine Folge davon iſt, daß das heiße Waſſer in der Mitte des Rohres aufſteigt, ſich an der Oberfläche des Beckens gegen den Rand hin verbreitet und dann abgekühlt an dem Boden des Baſſins nach der Röhre zurückfließt.

Aus der Betrachtung der obigen Tabelle erſieht man nun, daß das Waſſer an keiner Stelle und zu keiner Zeit eine ſo hohe Temperatur hat, wie ſie erforderlich wäre, damit das Waſſer bei dem auf ihr laſtenden Drucke ins Kochen gerathen könnte.

Einen Fuß über dem Boden z. B. hat das Waſſer außer dem Druck der Atmoſphäre noch eine Waſſerſäule von 69 Fuß zu tragen; bei dieſem Druck aber müßte es bis auf 136° erhitzt werden, wenn das Kochen beginnen ſollte, während ſeine Temperatur hier 10 Minuten vor der großen Eruption nur 126,5°, alſo 9,5° unter dem entſprechenden Siedpunkte war.

In einer Tiefe von 40 Fuß, alſo 30 Fuß über dem Boden, wurde kurz vor einer großen Eruption die Temperatur des Waſſers gleich 121,8°, alſo nur 2,4° niedriger gefunden als der Siedpunkt (124,2°), welcher dem auf dieſer Stelle laſtenden Druck entſpricht.

Obgleich nun die Temperatur des Waſſers im Geyſirrohre im Allgemeinen nicht den dem Druck entſprechenden Siedpunkt ereeicht, ſo können doch von Zeit zu Zeit einzelne Waſſerparthien noch heiß genug in höheeen Schichten ankommen, um Dampfblaſen zu bilden, die aber bei fernerem Aufſteigen in die kälteren Schichten alsbald wieder verdichtet werden. Auf dieſe Weiſe entſtehen dann die unterirdiſchen Detonationen und die Anſchwellungen des Waſſers im Geyſirrohre, welche im vorigen Paragraphen erwähnt wueden.

Durch eine Bildung von Dampfblaſen wird aber die Wärme gebunden, die Temperatur der Waſſerſchichten, aus welchen die Dampfblaſe ſich entwickelt, wird ſo weit erniedrigt, daß einige Zeit vergeht, bevor eine neue Blaſenbildung erfolgen kann. Deshalb folgt auf jede mit einer Aufwallung im Becken begleitete Detonation eine Zeit der Ruhe.

Allmälig nimmt aber die Temperatur des Waſſers an allen Stellen des Geyſirrohres zu, die Dampfblaſen werden größer und mächtiger, ſo daß ſie theilweiſe noch die Oberfläche des Waſſers erreichen. Endlich aber werden die Dampfblaſen mächtig genug, um eine bedeutende Waſſermaſſe aus dem Geyſirrohre hinauszuſchleudeen, und dies iſt dann der erſte Anſtoß zu einer großen Eruption. Indem nämlich durch ſolche Dampfblaſen ein Theil der Waſſerſäule aus dem Rohre hinaus geſchleudert wird, wird der Druck, welchee auf den tieferen Schichten laſtet, ſo weit vermindert, daß auf einmal eine ſo maſſenhafte Dampfentwickelung ſtattfindet, wie ſie nothwendig iſt, um die Eeuptionen zu bewirken, die wir oben kennen lernten.

Wenn z. B. eine mächtige Dampfblaſe ſo viel Waſſer aus dem Rohre hinaustreibt, daß die auf den tieferen Schichten laſtende Waſſerſäule dadurch um 5 bis 6 Fuß verkürzt wird, ſo wird der Druck, welcher auf der 30 Fuß über dem Boden ſich befindenden Waſſerſchicht laſtet, ſo weit vermindert, daß dieſelbe ſchon bei einer Temperatur von ungefähr 120° ins Kochen gerathen kann. Da nun aber an dieſer Stelle das Waſſer, wie wir oben geſehen haben, die Temperatur von 121,8° hat, ſo iſt klar, daß nun hier eine ſo mächtige Dampfentwickelung ſtattfinden muß, daß von Neuem ungeheure Waſſermaſſen aus dem Robee in die Höhe geſchleudert werden. Dadurch werden aber auch die nächſttiefeeen Schichten ins Kochen gebracht, welche noch größere Waſſermaſſen in die Höhe teeiben, bis endlich die im Rohre aufgeſpart geweſene Wäeme ſo weit conſumirt iſt, daß keine weitere Dampfbildung mehr ſtattfinden kann.

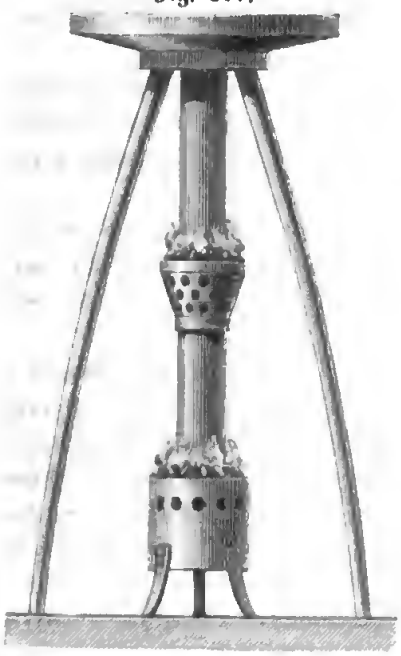
Nur theilweiſe fällt das abgekühlte Waſſer in das Baſſin herab, ohne es jedoch ausfüllen zu können. Die ganze Waſſerſäule iſt jetzt ſo ſtark abgekühlt, daß eeſt nach 4 bis 5 Stunden die erwähnten Detonationen wieder eintreten können.

Der Sitz der Kraft, welcher die in kochenden Schaum verwandelte Waſſermaſſe emporſchleudert, iſt alſo in dem Geyſirrohre ſelbſt und nicht, wie man feüher glaubte, in unterirdiſchen Höhlungeu zu ſuchen, welche abwechſelnd bald mit Waſſer, bald mit Dampf gefüllt ſein ſollten.

Wenn Bunſen's Eeklärung dee Geyſir-Eeuptionen die wahre iſt, wenn er die Bedingungen des Phänomens richtig erkannt hat, ſo muß man auch im

Stande sein, sie nachzuahmen. Der Apparat, den ich zu diesem Zwecke construirt habe, ist Fig. 217 abgebildet. Eine ungefähr 5 Fuß hohe Blechröhre von 5 Zoll Durchmesser ist unten geschlossen, und endet oben in ein flaches Becken von Blech, welches etwas über 2 Fuß im Durchmesser hat. Ungefähr in der Mitte seiner Höhe ist an diesem Rohre ein von durchlöchertem Blech gebildetes Kohlenbecken befestigt. Der ganze Apparat wird durch einen hölzernen Ring getragen, welcher auf drei Beinen ruht.

Fig. 217.



Das Rohr wird ungefähr bis zu seiner Mündung in das Becken mit Wasser gefüllt, sein unteres Ende in einen mit glühenden Kohlen gefüllten kleinen Ofen gesenkt und auch der mittlere Kohlenbehälter mit glühenden Kohlen gefüllt.

Die Wassermasse zwischen den beiden Kohlenbecken wird nun nach einiger Zeit bis zu der Siedetemperatur erwärmt sein, welche dem auf ihr lastenden Druck entspricht. Beginnt nun an der Stelle des oberen Kohlenbeckens die Dampfbildung, so werden die ersten Dampfblasen nur ein Aufwallen des Wassers im Becken bewirken, bis endlich, nach einigen solchen, gleichsam vergeblichen Versuchen eine Eruption erfolgt, welche das siedende Wasser 2 bis 3 Fuß hoch über das Bassin in die Höhe schleudert.

Betrachten wir nun zum Schlusse noch die Bildung des Geysirrohres. Der Quellenboden ist aus Tuff gebildet, welcher durch das heiße Wasser zerlegt wird. Besonders unter dem Einflusse des kohlensauren Natrons und Kalis wird die Kieselerde gelöst, so daß die ursprüngliche Gesteinsmasse in ein Thonlager verwandelt wird, welches von den Kieselincrustationen der Quelle bedeckt ist.

Der Gehalt des Geysirwassers an kohlensaurem Kali und Natron bewirkt, daß es selbst vollständig erkaltet noch klar bleibt und eine Ausscheidung der Kieselerde erst bei vollständiger Verdampfung des Wassers eintritt. Daher kommt es denn, daß das Quellenbassin selbst von Kieselbildungen frei bleiben muß, während seine den Wasserspiegel überragenden Ränder, an denen die durch Capillarität eingesogene Flüssigkeit leicht und schnell verdampft, sich mit einer Kieselkruste überkleiden. Auf diese Weise baut sich das Quellenbassin, indem es sich mit einem Hüget von Kieseltuff umgiebt, zu einer tiefen Röhre aus, die, wenn sie eine gewisse Höhe erreicht hat, alle Bedingungen in sich vereinigt, um die Quelle in einen Geysir, d. h. in eine Springquelle zu verwandeln.

Die Kieseltuffbildungen schreiten aber unaufhörlich fort, bis sie endlich im

Laufe der Jahrhunderte eine Höhe erreicht haben, welche der Eruptionsthätigkeit der Quelle ein Ziel setzt, wenn endlich die von unten zugeführte Wärme nicht mehr hinreichend ist, um bei dem erhöhten Druck an irgend einer Stelle des Rohrs eine Dampfbildung zu bewirken. Es entstehen dann große, mit heißem Wasser gefüllte Tuffreservoire.

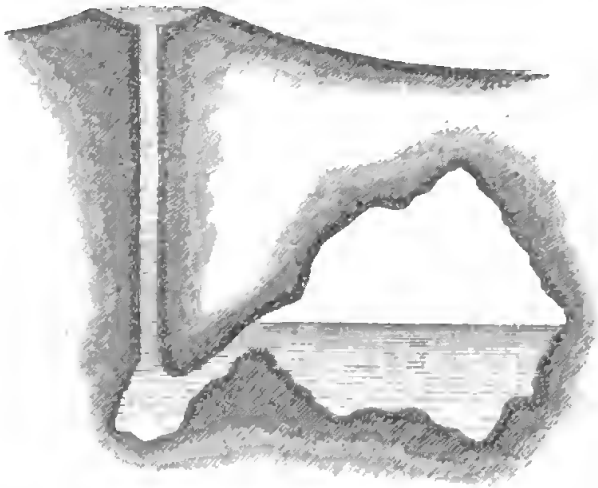
Etwas oberhalb des gegenwärtig in voller Thätigkeit begriffenen Quellenbezirkes des großen Geysirs erblickt man noch mehrere solcher mit heißem Wasser gefüllten Behälter, in deren Tiefe man noch die alten Geysirmündungen durchschimmern sieht.

Die Eruptionen des Strokkr kommen wahrscheinlich in ähnlicher Weise zu Stande, wie die des großen Geysirs, aber jedenfalls hat die Kraft, welche das Wasser in die Höhe schleudert, ihren Sitz in einer größeren, für directe Versuche unzugänglichen Tiefe.

Anders verhält es sich mit dem Litli Geysir, dessen Erscheinungen von der Art sind, daß sie mit der von Makenzie zuerst aufgestellten Hypothese unterirdischer Dampfkessel, welche man mit Unrecht auch zur Erklärung der Eruptionen des großen Geysirs benutzt hat, in völligem Einklang stehen.

Fig. 218 dient dazu die ältere Geysirtheorie zu erläutern. Eine Eruption erfolgt, wenn die in der seitlichen Höhlung angesammelten Dämpfe hin-

Fig. 218.



längliche Spannkraft erlangt haben, um sich einen Ausweg durch das Geysirrohr zu erzwingen.

158 **Temperatur der Seen und Flüsse.** In den Seen erleiden die oberen Wasserschichten ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen; sie können im Winter zufrieren, während sie im Sommer oft eine Temperatur von 20 bis 25° erreichen; in der Tiefe findet dies jedoch nicht Statt. Sauſſure hat in dieſer Beziehung die meisten Seen der Schweiz untersucht und die merkwürdige Thatsache bestätigt, daß in großen Tiefen die Temperatur der Seen ungefähr 5° C. beträgt.

Im Sommer wirken zwei Urſachen, um die Temperatur der oberen Waſſerſchichten zu erhöhen; die warme Luft ſtreicht über den Waſſerſpiegel hin, und die von der Sonne kommenden Wärmeſtrahlen werden, indem ſie mehr oder weniger tief in das Waſſer dringen, von demſelben abſorbirt. Die erwärmten Schichten miſchen ſich durch die Wellenbewegung, ſie miſchen ſich aber nicht mit den Gewäſſern der Tiefe, weil ſie wegen ihres geringeren ſpecifiſchen Gewichtes oben ſchwimmen und weil ſelbſt die heftigſte Wellenbewegung doch nur auf eine geringe Tiefe merklich iſt. Im Sommer und im Herbſt muß alſo die Temperatur des Waſſers in der Tiefe niedriger ſein als an der Oberfläche.

Im Winter erkalten die oberen Waſſerſchichten, weil ſie mit der kalten Luft in Berührung ſind und weil ſie namentlich in der Nacht ihre Wärme ausſtrahlen. Die erkaltende Schicht wird dichter, ſie ſinkt nieder und miſcht ſich mit dem wärmeren Waſſer der tieferen Schichten; ſobald ſie ſinkt, wird ſie durch eine andere erſetzt, welche ebenfalls erkaltet und niederſinkt, u. ſ. w. Wenn das Waſſer kein Dichtigkeitsmaximum hätte, ſo würden auch im Winter die tiefſten Schichten die kälteſten ſein, die Oberfläche könnte alſo nicht eher die Temperatur von 0° annehmen, als bis die ganze Waſſermaſſe bis auf den Boden eben ſo weit erkaltet wäre, und die Folge davon würde ſein, daß die Seen bis auf den Grund zufrieren müßten. Weil das Waſſer aber ein Dichtigkeitsmaximum hat, iſt der Hergang ein anderer. Sobald die oberen Waſſerſchichten die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums erreicht haben, ſinken ſie nieder, andere Waſſertheilchen treten an ihre Stelle, und ſo geht es fort, bis die ganze Waſſermaſſe dieſe Temperatur hat. Wenn nun, ſobald dies der Fall iſt, die Kälte noch fortdauert, ſo wird die obere Waſſerſchicht durch ferneres Erkalten leichter; ſie wird alſo fort und fort erkalten können, ohne niederzuſinken; nun nimmt die Temperatur alſo mit der Tiefe zu bis zu 4,1° C. Aus dieſem Grunde findet auch die Eisbildung auf der Oberfläche Statt, die Dicke der Eisſchicht kann nur ſehr langſam zunehmen und nie eine bedeutende Stärke erlangen.

Dieſe Betrachtung zeigt uns auch, daß ruhige und ſehr tiefe Gewäſſer nur dann zufrieren können, wenn eine ſtrenge Kälte längere Zeit anhält; denn die ganze Waſſermaſſe, welche während des Sommers über 4,1° erwärmt worden iſt, muß nach und nach an die Oberfläche ſteigen, um da ihren Wärmeüberſchuß abzugeben; und wenn die wärmere Waſſermaſſe eine Tiefe von 500 bis 600 Fuß hat, ſo iſt klar, daß unter ſonſt gleichen Umſtänden eine weit längere Zeit nöthig iſt, damit alle wärmeren Waſſertheilchen der Reihe nach auf die Oberfläche ſteigen, um da bis zu 4,1° zu erkalten, als wenn die Tiefe nur 20 bis 30 Fuß betrüge. An den Ufern und über Bänken von bedeutender Ausdehnung, überhaupt an allen Stellen von geringerer Tiefe kann ſich deshalb auch ſchon eine Eisdecke bilden und eine bedeutende Dicke erlangen, während an den tieferen Stellen die Oberfläche des Waſſers vom Eiſe frei bleibt.

Es iſt nun die Frage, bis zu welcher Tiefe die Wärme des Sommers eindringen kann? Bis jetzt hat man darüber nur ſehr unvollſtändige Angaben. Nehmen wir z. B. an, die Sommerwärme wäre nur bis zu einer Tiefe von

500 Fuß merklich, so müßte ein 10,000 Fuß tiefer See eben so leicht zufrieren wie ein anderer, welcher nur 500 Fuß tief ist; denn bei dem ersteren hat ja alles Wasser, welches mehr als 500 Fuß unter dem Spiegel sich befindet, das ganze Jahr hindurch die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums; es kann also auf die Erscheinungen der oberen Wasserschichten in keiner Weise wirken.

Wenn vor dem Gefrieren einmal die ganze Wassermasse eines Sees die Temperatur von 4,1° haben muß, so muß dasselbe nach dem Aufthauen ebenfalls stattfinden, bevor die Temperatur der oberen Wasserschichten über die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums steigen kann.

In den Flüssen ist natürlich wegen der beständigen Bewegung, welche die Wasserschichten verschiedener Temperatur fortwährend mischt, die Vertheilung der Wärme weniger regelmäßig als in den Landseen. Das Gefrieren beginnt in der Regel am Ufer; doch beobachtet man auch häufig, daß sich die Eisschollen mitten im Strome bilden und, anfangs ganz klein, bald eine bedeutende Größe erlangen. Eine sehr auffallende Erscheinung ist die Bildung von Grundeis in den Flüssen; diese Eisbildung findet nicht auf der Oberfläche, sondern auf dem Boden Statt; wenn das am Boden gebildete Eis aufsteigt, so hebt es Steine und sonstige Gegenstände vom Boden mit in die Höhe; im Rhein werden oft die Ankerketten der Schiffbrücken durch das Grundeis in die Höhe gebracht.

Die wahrscheinlichste Erklärung des Grundeises hat Arago gegeben; seine Ansicht ist die, daß das Wasser oft unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden, daß aber die so stark erkalteten Wassertheilchen sogleich erstarren, wenn sie, durch die Strömung niedergezogen, mit den festen Körpern auf dem Boden in Berührung kommen.

159 **Temperatur der Meere.** Von tüchtigen Reisenden sind die Aequatorialmeere und die Polarmeere befahren worden; überall haben sie über die Temperatur und die damit zusammenhängenden Erscheinungen zahlreiche Reihen von Beobachtungen gemacht, welche für die Wissenschaft von höchstem Interesse sind.

Ueber dem Meere, in großen Entfernungen von den Küsten, sind die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur weit geringer als auf dem Lande. Auf dem Aequatorialmeere z. B. beträgt die Differenz des Maximums und des Minimums der Temperatur eines Tages höchstens 1 bis 2°, während sie auf dem Lande 5 bis 6° beträgt; in der gemäßigten Zone, zwischen dem 25. und 50. Breitengrade, ist dieser Unterschied nur 2 bis 3°, während er auf dem Lande sehr groß ist; in Paris beträgt er manchmal 12 bis 15°.

Das Minimum der Temperatur findet auch auf dem Meere kurz vor Sonnenaufgang Statt, die Zeit des Maximums soll aber nach einigen Beobachtern dem Mittage näher liegen als auf den Continenten.

Vergleicht man die Temperatur der Luft, welche auf den Meeren ruht, mit der der oberen Wasserschichten, so ergeben sich folgende Resultate.

In den Tropen ist in der heißesten Tageszeit die Luft wärmer als das Wasser; wenn man aber die Temperatur der Luft und des Wassers von 4 zu 4

Stunden bestimmt, wie es der Capitän Duperrey gethan hat, so ergiebt sich, daß im Durchschnitt die Temperatur der Luft niedriger ist als die des Wassers. Unter 1850 Beobachtungen, welche er gemacht hat, fand er 1371mal das Meer und nur 479mal die Luft wärmer.

In höheren Breiten, vom 25. bis zum 50. Grade, ist die Luft nur selten in den Polargegenden fast nie wärmer als die Oberfläche des Meeres.

Gehen wir nun zur Betrachtung der Temperatur des Meeres in verschiedenen Tiefen über.

In den Tropen nimmt die Temperatur der Meere mit der Tiefe ab, in den Polarmeeren dagegen nimmt sie mit der Tiefe zu.

Während in der heißen Zone die Temperatur der Meeresoberfläche 27° C. ist, sinkt dort die Temperatur des Wassers in der Tiefe unter + 4°. Die Beobachtungen, welche am Bord der Venus unter den Befehlen von Du Petit-Thouars gemacht wurden, ergaben für die Temperatur der Tiefe in der heißen und gemäßigten Zone 3,2 bis 2,5°; unter 27° 47′ südl. Breite fand man z. B. im indischen Meere in einer Tiefe von 990 Faden die Temperatur 2,8°, während sie auf der Oberfläche 23,8° war; bei Penedo und S. Pedro, 4° 23′ nördl. Breite und 28° 26′ westlich von Paris, an der Oberfläche 27°, in einer Tiefe von 1130 Faden aber 3,2°; Kotzebue fand in einer Tiefe von 525 Faden unter einer Breite von 32° 11′ die Temperatur des Wassers 2,5°.

Humboldt hat gezeigt, daß die Erkaltung der Meeresoberfläche während der Nacht nicht die Veranlassung der geringen Temperatur der Meerestiefen in den Tropen sein kann und daß sie nur die Folge eines Meeresstromes ist, welcher in der Tiefe die Gewässer der Pole dem Aequator zuführt; deshalb findet man auch in der Tiefe des mittelländischen Meeres, wo diese untere Meeresströmung nicht eindringen kann, keine so niedrigen Temperaturen.

Die Beobachtungen von Mulgrave, Scoresby, Roß und Parry geben das übereinstimmende Resultat, daß in den Polarmeeren die Temperatur in der Tiefe höher ist als an der Oberfläche; in einer Tiefe von 700 Faden steigt die Temperatur des Wassers auf 2 bis 3°, während sie an der Oberfläche nicht über 0° war. Beechey dagegen fand in der Behringsstraße in einer Tiefe von 20 Faden die Temperatur des Wassers — 1,4°, während sie an der Oberfläche + 6,3° betrug; Beechey fand im Allgemeinen die Temperatur der Tiefe niedriger als die der Oberfläche.

Diese Widersprüche lassen sich noch nicht erklären, überhaupt ist man bis jetzt noch nicht im Stande, die Gesetze des Gleichgewichts der Meeresschichten so zu entwickeln, wie es bei dem süßen Wasser der Fall ist, weil die Dichtigkeit des Meerwassers nicht allein von seiner Temperatur, sondern auch von seinem Salzgehalte abhängt.

Durch den Salzgehalt des Wassers wird sowohl sein Gefrierpunkt als auch die Temperatur seines Dichtigkeitsmaximums erniedrigt. Despretz fand für den Gefrierpunkt des Meerwassers (das Wasser, mit welchem er experimentirte, war von Freycinet in der Südsee geschöpft) — 2,55°, für die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums aber — 3,67°; das Dichtigkeitsmaximum findet also

bei einer Temperatur Statt, welche unter der des Gefrierpunktes liegt, es kann alſo nur beobachtet werden, wenn das Waſſer bis unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne zu erſtarren. Despretz unterſuchte den Gang der Ausdehnung des Meerwaſſers, indem er Thermometer damit conſtruirte, und dieſe Verſuchsmethode möchte wohl die einzige ſein, welche in dieſem Falle ein zuverläſſiges Reſultat geben kann. Für die Phyſik der Meere kann jedoch dies Reſultat keine Anwendung finden, indem wohl ſchwerlich eine bedeutende Waſſermaſſe ihrer ganzen Ausdehnung nach unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne feſt zu werden.

Beim Gefrieren des Meerwaſſers bildet ſich reines Eis, während die Concentration des flüſſigbleibenden Theiles zunimmt; die oberen Schichten nehmen alſo in den kalten Zonen aus zwei Gründen an Dichtigkeit zu, erſtens wegen der Temperaturerniedrigung und zweitens wegen der bei der Eisbildung zunehmenden Concentration des Waſſers. Da aber die dichter gewordenen Waſſertheilchen niederſinken müſſen, ſo iſt es noch nicht ganz klar, wie in den Polarmeeren die Temperatur des Waſſers in der Tiefe zunehmen kann.

Sollte vielleicht dieſelbe Urſache, welche veranlaßt, daß die Temperatur der feſten Erdrinde mit wachſender Tiefe immer mehr zunimmt, auch eine Erwärmung des Meeres von ſeinem Boden aus veranlaſſen?

Wenn am Boden des Meeres eine ſolche Erwärmung ſtattfinden ſollte, ſo könnte das erwärmte Waſſer doch nicht bis zur Oberfläche des Meeres ſteigen, weil es, ſich mit den an der Oberfläche erkalteten und niederſinkenden Waſſertheilchen miſchend, ſeine höhere Temperatur alsbald verliert.

Die Eisbildung in den Polarmeeren gehört zu den großartigſten Erſcheinungen der Natur. Die Eismaſſen, denen man an den Küſten von Spitzbergen und Grönland begegnet, ſind in der Regel 20 bis 25 Fuß dick; ſie bilden ungeheure Ebenen, deren Gränzen man oft von den höchſten Maſten der Schiffe nicht überſehen kann; es ſind dies die ſogenannten Eisfelder, deren Oberfläche manchmal 300 bis 400 Quadratmeilen beträgt. Die Oberfläche der Eisfelder iſt oft vollkommen eben, oft aber auch uneben und ſchollig. Manchmal ſieht man Erhebungen, gleichſam Säulen von einer Höhe von 20 bis 30 Fuß, welche einen ſehr maleriſchen Anblick darbieten, indem ſie bald die ſchönſte bläulichgrüne Farbe zeigen, bald mit einer dicken Schneeſchicht überdeckt ſind.

Durch den Wellenſchlag, vielleicht auch durch andere Urſachen, zerberſten dieſe Eisberge oft plötzlich und zertheilen ſich in Stücke von 1000 bis 2000 Quadratfuß Oberfläche. Dieſe Stücke werden oft durch einen ſchnellen Meeresſtrom fortgeführt, und wenn ſie einem entgegengeſetzten Meeresſtrome begegnen, welcher die Stücke eines anderen Eisfeldes mit ſich führt, ſo ſtoßen die Eismaſſen mit furchtbarem Krachen an einander. Ein Schiff, welches das Unglück hat, zwiſchen ſolche Maſſen zu gerathen, kann der ungeheuren Kraft nicht widerſtehen, es wird förmlich zerquetſcht. Man hat viele traurige Beiſpiele, daß Schiffe auf dieſe Weiſe zu Grunde gingen.

Wenn die Eismaſſen zum Theil bei dieſem ſchrecklichen Zuſammentreffen zerberſten, wenn ſie gleichſam zerbröckelt werden, ſo nehmen andere an Maſſe zu und werden noch furchtbarer. Eisſtücke, welche durch die Wogen gehoben wer-

den, fallen über die anderen Eisblöcke her, und ſo entſtehen wahre Eisberge, welche oft 30 bis 40 Fuß über den Waſſerſpiegel emporragen. Da die Dicke des über das Waſſer hervorragenden Theils $^1/_4$ des untergetauchten beträgt, ſo ſind ſolche Eisberge im Ganzen 120 bis 160 Fuß hoch.

In der Baffinsbay findet man noch weit höhere Eisberge als in den grönländiſchen Meeren; ſie ragen manchmal 90 bis 120 Fuß hoch über den Meeresſpiegel empor und haben alſo eine Totalhöhe von 450 bis 600 Fuß. Solche auf den Meeren umhertreibende Eisberge ſtammen ohne Zweifel von mächtigen bis in das Meer vorgeſchobenen Gletſchern her. Fig. 219 ſtellt einen ſchwim-

Fig. 219.

menden Eisberg dar, welchen Parry auf ſeiner erſten Reiſe beobachtete. Im Sommer, wenn das Eis durch die Wirkung der Sonnenſtrahlen geſchmolzen wird, ſtrömt das Waſſer in ungeheuren Waſſerfällen von dem Kamme ſolcher Eisgebirge herab. Es iſt dies ein majeſtätiſches Schauſpiel, welches die Schiffer jedoch nur aus der Ferne betrachten; denn die gigantiſchen, hoch in die Lüfte ragenden Eiszacken und Bogen berſten plötzlich und ſtürzen unter ungeheurem Krachen in das Meer herab.

Zweites Capitel.

Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

160 **Die Lufthülle der Erde.** Die feste, zum Theil mit Wasser bedeckte Erdkugel ist mit einer gasförmigen Hülle umgeben, welche man mit dem Namen der Atmosphäre bezeichnet. Das Gasgemenge, aus welchem die Atmosphäre besteht, nennt man die Luft.

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoffgas und Stickgas, deren Gemisch noch verhältnißmäßig geringe Quantitäten von Kohlensäure und Wasserdampf beigemengt sind. In 100 Raumtheilen Luft sind 79 Raumtheile Stickgas und 21 Raumtheile Sauerstoffgas enthalten. Dieses Verhältniß ist fast ganz constant. Der Gehalt an Kohlensäure ist an und für sich sehr gering, unterliegt aber verhältnißmäßig größeren Schwankungen als Sauerstoff und Stickstoff, indem 10,000 Raumtheile Luft 3,3 bis 5,3 Raumtheile Kohlensäure enthalten. Noch veränderlicher ist der Gehalt an Wasserdampf, wovon im folgenden Capitel ausführlicher gehandelt werden soll.

Der Luft kommt, wie dies in der Physik näher nachgewiesen wird, ebenso wie den festen und den tropfbar-flüssigen Körpern die Eigenschaft der Schwere zu. Die Lufttheilchen werden also von der Masse des Erdkörpers angezogen und dadurch auch verhindert, sich von der Erde aus in den Weltraum zu zerstreuen. Durch ihre Schwere wird die Atmosphäre zu einem integrirenden Theile der Erde, sie nimmt Theil sowohl an ihrer jährlichen wie an ihrer täglichen Bewegung.

Der Boden des Luftmeeres, welches wir Atmosphäre nennen, ist der Schauplatz alles organischen Lebens auf der Erde; nur durch Vermittelung der Luft wird das Thier- und Pflanzenleben unterhalten. Die Dichtigkeitsverhältnisse der Luft, ihre Bestandtheile, die Strömungen derselben, ihr Feuchtigkeitsgehalt und die durch denselben bedingten wässerigen Niederschläge, die Verbreitung der Wärme in der Atmosphäre sind also wesentliche Elemente für die Entwickelung der Flora sowohl wie der Fauna eines Landes.

Weil die Luft expansibel ist und das Volumen, welches eine gegebene Luftmenge einnimmt, von dem Drucke abhängt, welchem sie ausgesetzt ist, so ist klar,

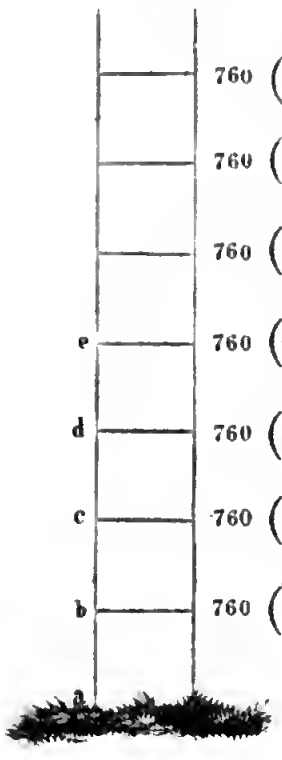
daß die Atmoſphäre nicht überall gleiche Dichtigkeit haben kann, daß dieſelbe vielmehr von unten nach oben fortwährend abnehmen muß, weil ja die tieferen Luftſchichten einem weit größeren Druck ausgeſetzt ſind als die höheren.

Daß die tieferen Luftſchichten wirklich einen ſtärkeren Druck auszuhalten haben, das beweiſen uns die in verſchiedenen Höhen angeſtellten Barometerbeobachtungen. Am Meeresufer iſt die Höhe der Barometerſäule im Mittel 760 Millimeter; ſobald man ſich aber über den Meeresſpiegel erhebt, ſinkt das Barometer um ſo mehr, je höher man ſteigt; zu Potoſi, in einer Höhe von 13220 Fuß, iſt der mittlere Barometerſtand nur noch 471 Millimeter (17,4 Zoll); in jener Höhe iſt alſo der Luftdruck nur noch 0,62 von demjenigen, welcher am Ufer des Meeres ſtattfindet.

Daß die Luft in der Höhe weniger dicht iſt als in der Tiefe, läßt ſich gleichfalls durch Barometerverſuche darthun. Vom Spiegel des Meeres aus muß man um 10,5 Meter ſteigen, wenn das Barometer um 1 Millimeter fallen ſoll; wenn man aber von Potoſi aus noch höher ſteigt, ſo muß man ſich um 16,8 Meter erheben, um ein Sinken des Barometers um 1 Millimeter zu erhalten. Die Dichtigkeit der Luft zu Potoſi verhält ſich alſo zu der Dichtigkeit der Luft am Ufer des Meeres wie 10,5 zu 16,8, d. h. im Niveau des Meeres iſt die Luft 1,6mal dichter als zu Potoſi, oder mit anderen Worten: die Dichtigkeit der Luft zu Potoſi iſt nur 0,62 von derjenigen, welche am Ufer des Meeres ſtattfindet.

Barometriſche Höhenmeſſung. Das Barometer iſt dasjenige In- 161
ſtrument, welches uns über die Dichtigkeitsverhältniſſe der Luft in verſchiedenen Höhen die beſte Auskunft geben kann; um aber aus den Barometerbeobachtungen die gewünſchten Reſultate ziehen zu können, iſt es nöthig, erſt die Beziehungen kennen zu lernen, welche zwiſchen der Erhebung über den Meeresſpiegel und dem entſprechenden Sinken des Barometers ſtattfindet.

Fig. 220.



Es iſt ſoeben erwähnt worden, daß man von einem Orte aus, wo der Barometerſtand 760 Millimeter beträgt, um 10,5 Meter ſteigen müſſe, wenn das Barometer um 1 Millimeter, alſo bis auf 759 Millimeter (oder, was daſſelbe iſt, auf $760^{759}/_{760}$ Millimeter) fallen ſoll. Ohne merklichen Fehler können wir annehmen, daß die ganze Luftſchicht von 10,5 Meter Höhe überall gleich dicht ſei, wir können annehmen, daß ſie ſo dicht ſei als am Boden. Es ſei *a*, Fig. 220, ein Punkt auf dem Boden, *b* ein 10,5 Meter höher gelegener Punkt, und jeder der folgenden Punkte *c*, *d*, *e* u. ſ. w. liege immer wieder um 10,5 Meter höher als der nächſt tiefere. Da nach dem Mariotte'ſchen Geſetze die Dichtigkeit der Luft dem

Drucke proportional ist, unter welchem sie sich befindet, so muß die Luftschicht bc weniger dicht sein als ab, und zwar werden sich die Dichtigkeiten dieser Schichten verhalten wie die Barometerstände in a und b, d. h. die Dichtigkeit der Schicht bc ist $^{759}/_{760}$ von der Dichtigkeit der Schicht ab. Wenn man also von b nach c steigt, so wird das Barometer nicht abermals um 1 Millimeter fallen, sondern nur um $^{759}/_{760}$ Millimeter. Der Barometerstand in c ist demnach:

$$760\,\frac{759}{760}-\frac{759}{760}=\frac{759}{760}\,(760-1)=\frac{759^2}{760}=760\left(\frac{759}{760}\right)^2 \text{ Millimeter.}$$

Auf diese Weise können wir weiter schließen, daß sich die Dichtigkeiten der Schichten bc und cd verhalten wie die Barometerstände in b und c, daß also die Schicht cd $^{759}/_{760}$ mal leichter ist als die Schicht bc. Wenn also die Luftschicht bc einer Quecksilbersäule von $\frac{759}{760}$ Millimetern das Gleichgewicht hält, so kann die Schicht cd nur eine Quecksilbersäule von $\frac{759}{760}\times\left(\frac{759}{760}\right)=\left(\frac{759}{760}\right)^2$ Millimeter tragen, und wenn man sich von c bis d erhebt, so muß das Barometer um $\left(\frac{759}{760}\right)^2$ Millimeter fallen. In d ist also der Barometerstand

$$760\left(\frac{759}{760}\right)^2-\left(\frac{759}{760}\right)^2=760\left(\frac{759}{760}\right)^3 \text{ Millimeter.}$$

Dies reicht hin, um das Gesetz zu übersehen: in e wird der Barometerstand $760\left(\frac{759}{760}\right)^4$, in f wird er $760\left(\frac{759}{760}\right)^5$ sein ꝛc. Wenn man sich also $n$mal 10,5 Meter über a erhebt, so ist der Barometerstand $760\left(\frac{759}{760}\right)^n$.

Ist an einem Orte der Barometerstand $B=760\left(\frac{759}{760}\right)^m$, an einem anderen höher gelegenen $b=760\left(\frac{759}{760}\right)^n$, so ist die Höhendifferenz beider Orte $(n-m)$ mal 10,5 Meter.

Aus den Gleichungen

$$B=760\left(\frac{759}{760}\right)^m$$

$$b=760\left(\frac{759}{760}\right)^n$$

folgt

$$log.\ B=log.\ 760+m\,.\,log.\,\frac{759}{760},$$

$$log.\ b=log.\ 760+n\,.\,log.\,\frac{759}{760}.$$

Zieht man die letzte Gleichung von der vorhergehenden ab, so kommt

$$log.\ B-log.\ b=(m-n)\,log.\,\frac{759}{760}$$

und $$log.\ B - log.\ b = (n - m)\ 0{,}0005718$$

$$n - m = \frac{log.\ B - log.\ b}{0{,}0005718}.$$

Da aber die Höhendifferenz H der beiden fraglichen Orte $(n - m)$ 10,5 Meter ist, so haben wir auch

$$H = 10{,}5\ \frac{log.\ B - log.\ b}{0{,}0005718}$$

$$H = 18363\ (log.\ B - log.\ b) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Diese Formel giebt die Höhendifferenz H zweier Orte in Metern. Will man dieselbe in Pariser Fußen ausgedrückt haben, so hat man die Gleichung

$$H = 56521\ (log.\ B - log.\ b) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

anzuwenden.

Da der Quotient $\frac{B}{b}$ und folglich auch die Differenz $log.\ B - log.\ b$ unverändert bleibt, mit welcher Einheit auch die Barometerstände B und b gemessen sein mögen, so kann man nach Belieben, sowohl in Gleichung 1) als auch in Gleichung 2) die Barometerstände B und b in Millimetern oder in Pariser Linien oder in irgend einem anderen Maße ausdrücken.

Nach dieser Formel ist der mittlere Barometerstand einer Höhe

von	1500	Pariser	Fuß	über	dem	Meere	715^{mm}	oder	26″ 5‴	Par. M.
»	3000	»	»	»	»	»	673	»	24 10	»
»	6000	»	»	»	»	»	595	»	22 0	»
»	9000	»	»	»	»	»	527	»	19 6	»
»	18000	»	»	»	»	»	365	»	13 6	»
»	27000	»	»	»	»	»	252	»	8 5	»

Aus unserer Formel ergiebt sich nun auch leicht, wie hoch man steigen müsse, wenn das Barometer auf die Hälfte des normalen Barometerstandes am Meere fallen soll. Setzt man $B = 760$, $b = 380$, so folgt aus Gleichung 2) $H = 16972$ Pariser Fuß.

Erhebt man sich abermals um 16972 Fuß, so muß das Barometer auf $^1/_4$ seines Standes am Meere fallen u. s. w.

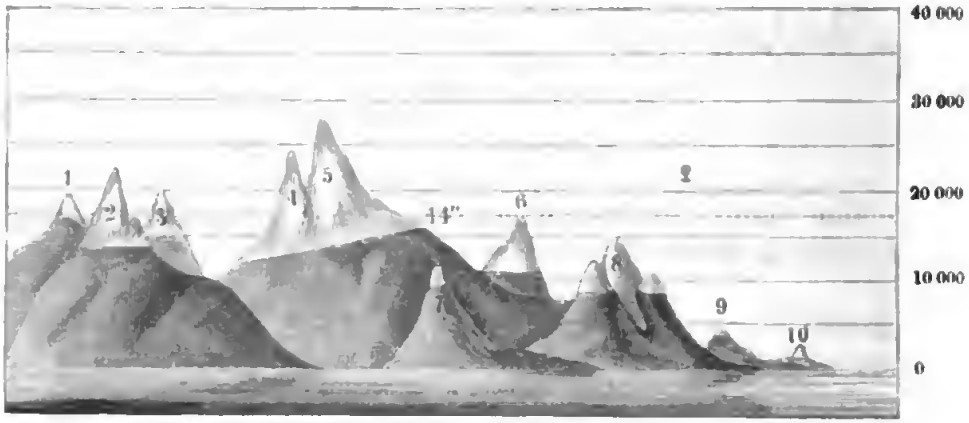
In Fig. 221 (a. f. S.) ist die Höhe, für welche der mittlere Barometerstand 14″ beträgt, durch eine punktirte Horizontallinie bezeichnet.

Setzt man in unserer Gleichung 2) $B = 760$ und $b = 1$, so folgt $H = 162448$. In einer Höhe von 160000 Fuß, nahe 8 geographische Meilen, ist also der Luftdruck bereits so gering, daß er nur noch eine Quecksilbersäule von 1 Millimeter zu tragen im Stande ist; in einer Höhe von 8 Meilen über dem Meeresspiegel ist also die Luft schon so verdünnt, wie wir es kaum mit den besten Luftpumpen erreichen können.

In den unteren Schichten der Atmosphäre wiegen ungefähr 113 Cubikfuß

Luft 1 Pfund, eben ſo viel wiegen in einer Höhe von 8 Meilen erſt 8600 Cubikfuß Luft.

Fig. 221.



162 **Höhe der Atmosphäre.** So nimmt denn die Dichtigkeit der Luft mit zunehmender Erhebung über den Boden fortwährend ab, bis ſie allmälig unmerklich wird und ſelbſt auf die empfindlichſten phyſikaliſchen Inſtrumente nicht mehr zu wirken vermag. Was von Luft über die Höhe von 10 bis 12 geographiſchen Meilen hinausgeht, iſt jedenfalls ein verſchwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmoſphäre, und deshalb nimmt man in der Regel an, daß die Atmoſphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographiſchen Meilen habe.

Eben weil die Luft expanſibel iſt, kann ſie nicht eine ſcharfe obere Gränze haben wie die Gewäſſer, welche die Erdoberfläche bedecken. Es findet eben in den höheren Luftregionen ein allmäliger Uebergang zur unendlichen Verdünnung Statt, und deshalb iſt auch die Höhe der Atmoſphäre keine abſolut gegebene und präeis beſtimmbare; man kann höchſtens ſagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in dieſem Sinne die Höhe der Atmoſphäre zu 10 bis 12 geographiſchen Meilen an, ſo ſehen wir, daß dieſe Höhe ſehr gering iſt im Vergleich zum Durchmeſſer der Erde, welcher nahe 1700 geographiſche Meilen beträgt. Um ſich ein klares Bild von dem Verhältniß der Erdkugel zu ihrer Atmoſphäre zu machen, denke man ſich eine Kugel von 1 Fuß Durchmeſſer, welche von einer nicht ganz 1 Linie dicken luftigen Hülle umgeben iſt.

Aber weit unter der angegebenen Gränze verſchwindet die letzte Spur des organiſchen Lebens, welches weder eine ſolche Luftverdünnung, noch eine ſo niedrige Temperatur ertragen kann, wie ſie in jenen Höhen herrſcht, und welches ſchwerlich bis auf die Gipfel der höchſten Berge hinaufſteigt.

163 **Tägliche Variationen des Barometers.** Der Luftdruck iſt ſelbſt an einem und demſelben Orte eine ſehr veränderliche Größe, welche fortwährenden Schwankungen unterworfen iſt. Wenn man in unſeren Gegenden einige Zeit lang mehrmals täglich das Barometer beobachtet, ſo ſind die oft ſehr be-

deutenden Schwankungen ſo unregelmäßig, daß man auf den erſten Anblick durchaus keine periodiſchen Veränderungen wahrnehmen kann, während ſelbſt aus ganz rohen Beobachtungen des Thermometers ſich alsbald ſowohl eine tägliche als eine jährliche Periode im Gange der Temperatur nachweiſen läßt.

Um entſcheiden zu können, ob mitten in den beſtändig ſtattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers ſich nicht auch ein periodiſches Steigen und Fallen geltend macht, muß man die Mittelzahlen einer großen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmäßig zu beſtimmten Stunden des Tages angeſtellt worden ſind. Wenn man einen Monat lang das Barometer an mehreren beſtimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derſelben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, ſo reicht dies hin, um die Exiſtenz einer täglichen Periode der Barometerſchwankungen auch für unſere Gegenden zu beweiſen. Die Tabelle auf Seite 400 enthält die Reſultate einer 20jährigen von Bouvard auf der Sternwarte zu Paris angeſtellten Reihe von Barometerbeobachtungen; ſie giebt die auf 0° reducirten Barometerſtände in Millimetern an. Die Beobachtungsſtunden waren 9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Die erſte Columne dieſer Tabelle enthält die Angabe der Beobachtungsjahre; dann folgt die Angabe des in jedem Jahre beobachteten höchſten und tiefſten Barometerſtandes. Die für eine jede Beobachtungsſtunde angegebenen Zahlen ſind das Mittel aus allen zu dieſer Stunde im Laufe eines Jahres gemachten Beobachtungen; ſo iſt z. B. 754,389 das Mittel aus allen im Laufe des Jahres 1819 um 3 Uhr Nachmittags beobachteten Barometerſtänden.

Man ſieht aus dieſer Tabelle, daß die für die verſchiedenen Beobachtungsſtunden gefundenen jährlichen Mittel ungleich ſind; ſie haben durchgängig den höchſten Werth für 9 Uhr Morgens, den niedrigſten um 3 Uhr Nachmittags; es ſpricht ſich darin entſchieden ein periodiſches Sinken und Steigen aus; die nicht periodiſchen Schwankungen unberückſichtigt gelaſſen, ſinkt demnach das Barometer ungefähr von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags, um dann wieder zu ſteigen. Um 9 Uhr Morgens ſteht das Barometer im Durchſchnitt um 0,775 Millimeter höher als um 3 Uhr Nachmittags.

Die Amplitude der periodiſchen Schwankungen iſt dieſer Tabelle zufolge ſehr gering im Vergleich zu den unregelmäßigen nicht periodiſchen Schwankungen; denn im Durchſchnitt iſt der höchſte Barometerſtand im Laufe eines Jahres 773,5 Millimeter, der niedrigſte 731 Millimeter, ihre Differenz alſo 42,5 Millimeter, während die Differenz des täglichen Maximums und Minimums nur 0,775 Millimeter beträgt.

Um den Gang der täglichen Barometerſchwankungen gehörig verfolgen zu können, muß eine Zeitlang wenigſtens bei Tage ſtündlich das Barometer beobachtet werden. Die meiſten Beobachtungsreihen dieſer Art ſind jedoch des Nachts nicht fortgeſetzt; man kann aber mit ziemlicher Sicherheit aus den am Tage gemachten Beobachtungen auf den Gang des Barometers in der Nacht ſchließen.

Die Tabelle auf Seite 401 enthält die Reſultate ſolcher Beobachtungsreihen, welche an verſchiedenen Orten angeſtellt wurden.

Jahr.	Höchster Stand.		Tiefster Stand.		Mittlere Barometerstände.				
	H. St.	Tag. Monat.	T. St.	Tag. Monat.	9 Uhr.	12 Uhr.	3 Uhr.	9 Uhr.	Mittel.
1819	770,89	1. Jan.	788,00	1. März.	755,104	754,863	754,389	754,789	754,786
1820	772,60	9. »	726,33	24. »	756,077	755,838	755,352	755,712	755,745
1821	780,82	6. Febr.	715,54	24. Dec.	755,986	755,755	755,285	755,764	755,697
1822	775,93	27. »	734,60	2. »	757,437	757,158	756,591	757,020	757,052
1823	772,23	7. Dec.	722,34	2. Febr.	755,033	754,796	754,353	754,633	754,704
1824	773,24	27. Mai.	728,66	12. Oct.	755,817	755,567	755,072	755,385	755,460
1825	776,35	10. Jan.	726,82	10. Nov.	757,742	757,430	756,873	756,962	757,252
1826	774,79	17. »	731,53	18. »	757,367	757,047	756,509	756,868	756,948
1827	773,48	28. Dec.	733,50	4. März.	756,211	755,995	755,484	755,847	755,884
1828	771,10	12. »	730,54	21. Febr.	756,306	756,084	755,616	755,982	755,997
1829	773,46	3. Febr.	734,68	7. Oct.	755,377	755,107	754,641	755,145	755,068
1830	771,90	1. Jan.	729,42	9. Dec.	755,918	755,691	755,255	755,772	755,646
1831	772,40	8. »	738,80	30. April.	755,356	755,157	754,676	755,176	755,091
1832	771,02	4. April.	738,05	30. »	757,893	757,548	757,025	757,597	757,515
1833	774,04	8. Jan.	730,68	1. »	755,790	755,508	754,988	755,521	755,452
1834	772,00	27. Dec.	739,46	10. Jan.	759,014	758,650	758,073	758,690	758,607
1835	776,63	2. Jan.	730,16	10. Oct.	757,270	756,990	756,494	757,114	756,967
1836	775,81	2. »	724,00	28. März.	755,363	755,088	754,578	755,165	755,036
1837	772,41	14. Oct.	737,74	18. Sept.	756,686	756,381	755,861	756,360	756,322
1838	772,31	31. Dec.	728,88	25. Febr.	754,679	754,365	753,896	754,355	754,324
1839	771,53	1. Jan.	735,77	20. »	755,886	755,102	754,631	755,048	755,041
1840	772,37	11. »	731,70	4. »	756,492	756,135	755,628	756,198	756,113
Mittel	773,51		731,01		756,287	756,009	755,512	755,957	755,941

Orte.	Gr. Ocean.	Cumana.	La Guayra.	Calcutta.	Padua.	Halle.	Abo.	Petersburg.
Entfernung vom Aequator.	0° 0′	10° 28′ n.	10° 36′ n	22° 35′ n.	45° 24′ n.	51° 29′ n.	60° 57′ n.	59° 66′ n.
Beobachter:	Horner.	Humboldt.	Boussingault.	Balfour.	Ciminello.	Kämtz.	Hallström.	Kupfer.
Mittag	752,35	756,57	759,41	759,61	757,02	753,29	759,31	759,47
1	751,87	755,99	758,91	759,22	756,85	753,11	759,29	»
2	751,55	755,47	758,41	758,39	756,67	752,99	759,27	759,38
3	751,15	755,14	758,12	758,12	756,54	752,89	759,25	»
4	751,02	754,96	758,05	757,91	756,47	752,84	759,25	759,32
5	751,31	755,14	758,10	757,93	756,46	752,86	759,27	»
6	751,71	755,41	758,40	758,01	756,50	752,91	759,29	759,31
7	751,93	755,81	758,90	758,02	756,63	753,02	759,34	»
8	752,35	756,21	759,19	758,54	756,79	753,14	759,39	759,32
9	752,74	756,59	759,69	759,24	756,92	753,24	759,44	»
10	752,85	756,87	759,93	759,33	757,02	753,31	759,47	759,36
11	752,86	757,15	759,98	759,09	757,02	753,29	759,47	»
Mitternacht	752,47	756,86	759,64	758,80	757,01	753,23	759,41	759,35
1	752,20	756,53	759,34	758,62	756,90	753,14	759,33	»
2	751,77	756,21	759,05	758,57	756,84	753,05	759,24	759,32
3	751,63	755,89	758,81	758,49	756,78	752,99	759,14	»
4	751,32	755,66	758,68	758,47	756,74	752,99	759,07	759,32
5	741,65	755,79	758,85	758,44	756,75	753,34	759,03	»
6	751,95	756,18	759,32	758,68	756,79	753,12	759,04	759,39
7	752,48	756,58	759,94	759,16	756,89	753,24	759,08	»
8	752,95	756,98	760,50	759,88	757,01	753,37	759,15	759,49
9	753,16	757,31	759,63	760,11	757,08	753,44	759,21	»
10	753,15	757,32	760,56	760,19	757,14	753,46	759,29	759,51
11	752,80	757,01	759,99	760,09	757,07	753,40	759,32	»

Nach dieſer Tabelle iſt in den folgenden Figuren der Gang der täglichen Barometervariationen für Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg anſchaulich gemacht.

Fig. 222. Cumana.

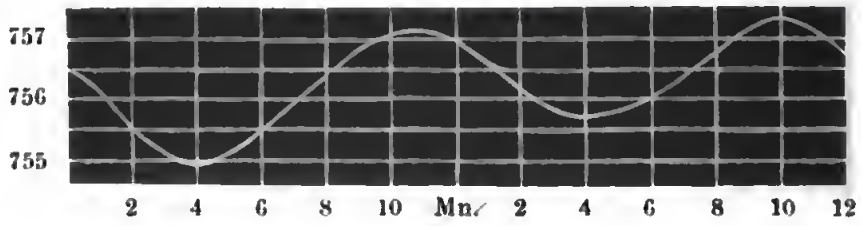


Fig. 223. Calcutta.

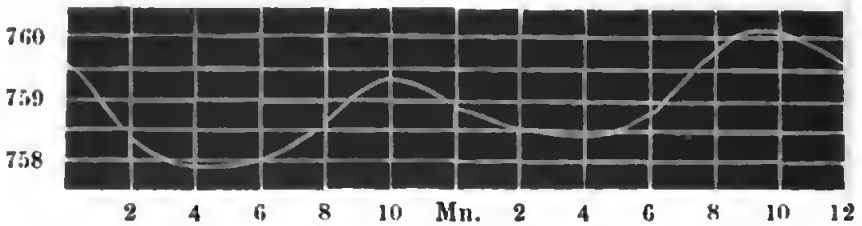


Fig. 224. Padua.

Fig. 225. Petersburg.

Die Zeit iſt zur Abſciſſe genommen, der Maßſtab der Ordinaten aber iſt vergrößert, weil die Amplitude der täglichen Variationen namentlich in höheren Breiten ſonſt wegen ihrer Kleinheit nicht ſichtbar geworden wäre; die Entfernung je zweier auf einander folgender Horizontallinien ſtellt $^1/_2$ Millimeter dar.

Das Barometer ſinkt alſo vom Mittag an und erreicht zwiſchen 3 und 5 Uhr ſein erſtes Minimum, es ſteigt dann und erreicht ein Maximum zwiſchen 9 und 11 Uhr Abends; ein zweites Minimum tritt gegen 4 Uhr Morgens, ein zweites Maximum gegen 9 Uhr Morgens ein.

Die Stunden, in welchen die tägliche Variation ein Maximum oder Minimum erreicht, nennt man Wendeſtunden.

Die Wendeſtunden ſind bei uns nicht für alle Jahreszeiten dieſelben, wie

man aus folgender Tabelle erſehen kann, welche für Halle die Wendeſtunden in den verſchiedenen Monaten des Jahres enthält.

Monate.	Minimum.	Maximum.	Minimum.	Maximum.
Januar	2,81h. A.	9,17h. A.	4,91h. M.	9,91h. M.
Februar	3,43	9,46	3,86	9,66
März	3,82	9,80	3,87	10,10
April	4,46	10,27	3,53	9,53
Mai	5,43	10,93	3,03	9,13
Juni	5,20	10,93	2,83	8,73
Juli	5,21	11,04	3,04	8,48
Auguſt	4,86	11,66	3,06	8,96
September	4,55	10,45	3,45	9,71
October	4,17	10,24	3,97	10,07
November	3,52	9,85	4,68	10,08
December	3,15	9,11	3,91	10,18

Beſtimmt man die Wendeſtunden, indem man das Mittel aus allen Monatszahlen nimmt, ſo ergeben ſich für alle Orte ſehr nahe dieſelben Wendeſtunden. Wenn die Wendeſtuuden nicht für alle Orte genau dieſelben ſind, ſo rührt vielleicht der Unterſchied nur daher, daß nicht an allen Orten die Beobachtungsreihen lange genug fortgeſetzt wurden; nimmt man alle auf der nördlichen Halbkugel angeſtellten Beobachtungen zuſammen, ſo ergeben ſich im Durchſchnitt folgende Wendeſtunden:

Minimum des Nachmittags	4	Uhr	5	Minuten.
Maximum des Abends . . .	10	»	11	»
Minimum des Morgens . .	3	»	45	»
Maximum des Morgens . .	9	»	37	»

Vergleicht man die Amplitude der täglichen Variationen, ſo findet man, wie ſchon angeführt wurde, daß ſie in den Tropen am größten iſt, und daß ſie um ſo mehr abnimmt, je weiter man ſich von dem Aequator entfernt. In Cumana beträgt die Amplitude der täglichen Variationen 2,36, in Petersburg nur 0,2 Millimeter.

Auch die Jahreszeiten üben auf die Größe der täglichen Variationen einen Einfluß aus; ſelbſt in den Tropen iſt die Amplitude derſelben während der Regenzeit geringer. Im Winter iſt die Amplitude der täglichen Schwankungen ein Minimum; zu welcher Zeit ſie ein Maximum iſt, hat man bis jetzt noch nicht genügend ermittelt. Die folgende Tabelle giebt die Werthe der täglichen Amplitude zu Halle und Mailand für die 12 Monate des Jahres an.

Monate.	Halle.	Mailand.
	mm.	mm.
Januar . .	0,393	0,738
Februar . .	0,476	0,718
März . . .	0,488	0,871
April . . .	0,569	0,871
Mai . . .	0,546	0,801
Juni . . .	0,557	0,961
Juli	0,566	0,952
August . .	0,569	0,812
September .	0,546	0,817
October . .	0,566	0,745
November .	0,426	0,727
December .	0,363	0,700

164 **Jährliche Periode der Barometerschwankungen.** Wenn man den mittleren Barometerstand für die verschiedenen Monate des Jahres bestimmt, so findet man bald, daß er sich von einem Monate zum anderen bedeutend ändert, und man erkennt in diesen Veränderungen auch bald eine jährliche Periode des Sinkens und Steigens. Die beiden folgenden Tabellen enthalten die mittleren Barometerstände der verschiedenen Monate für 10 Orte der nördlichen Hemisphäre.

Monate.	Havannah.	Calcutta.	Benares.	Macao.	Caire.
	mm	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	765,24	764,57	755,41	767,93	762,40
Februar	760,15	758,86	752,91	767,01	»
März	760,98	756,24	751,19	766,08	759,43
April	759,58	753,83	747,33	761,93	760,10
Mai	758,19	750,81	745,01	761,64	758,23
Juni	760,67	748,10	741,13	757,31	754,42
Juli	760,67	747,54	740,65	757,91	753,90
August	757,33	748,53	743,31	757,91	754,06
September	757,46	751,85	745,98	762,22	756,70
October	758,19	755,25	750,35	763,37	759,70
November	761,25	758,37	753,06	766,17	760,76
December	763,62	760,59	755,57	768,65	761,82

Monate.	Paris.	Straßburg.	Halle.	Berlin.	Petersburg.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	758,86	751,62	754,64	761,91	762,54
Februar	759,09	752,43	753,44	761,23	763,10
März	56,33	751,19	751,62	759,90	760,76
April	755,18	749,95	750,98	757,82	761,19
Mai	755,61	750,49	752,57	759,88	760,94
Juni	757,28	752,16	752,70	759,81	759,83
Juli	756,52	751,64	753,27	759,58	758,25
Auguſt	756,74	752,03	752,18	759,02	759,94
September	756,61	752,59	753,42	760,53	761,19
October	754,42	751,82	755,55	761,25	760,82
November	755,75	751,28	753,27	759,43	758,05
December	755,09	750,70	754,10	760,35	760,22

Fig. 226. Calcutta.

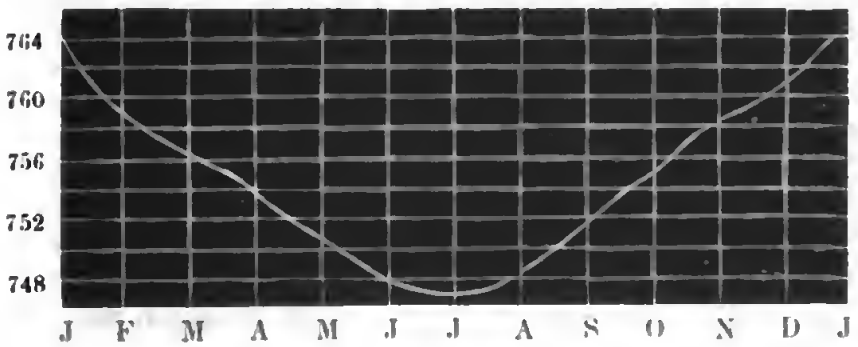


Fig. 227. Macao.

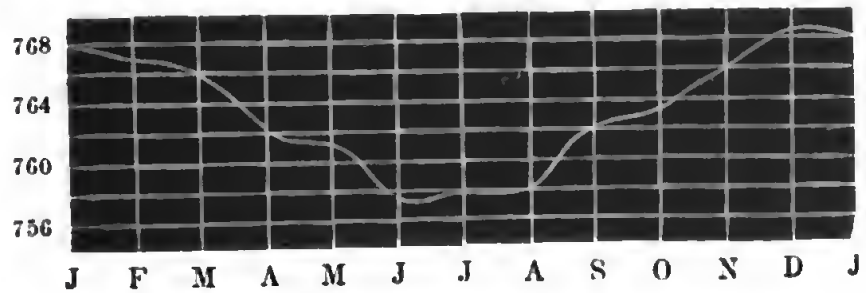


Fig. 228. Paris.

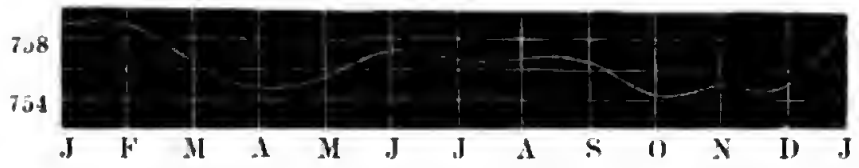
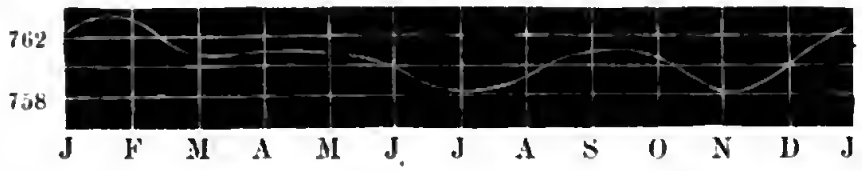


Fig. 229. Petersburg.



Um die Veränderungen des mittleren Barometerstandes im Laufe eines Jahres anschaulicher zu machen, folgt hierbei in Fig. 226 bis 229 die graphische Darstellung derselben für Calcutta, Macao, Paris und Petersburg. Die Entfernung zweier Horizontallinien entspricht einer Höhendifferenz von 2 Millimetern, in verticaler Richtung ist also der Maßstab dieser Figuren 4mal kleiner, als der Maßstab der Figuren 222 bis 225.

In Calcutta, wo man eine achtjährige Reihe von Beobachtungen angestellt hat, spricht sich die jährliche Periode am entschiedensten aus. Im Januar ist der mittlere Barometerstand am höchsten, er sinkt beständig bis zum Juli, wo er sein Minimum erreicht, und steigt dann wieder bis zum Januar. Die Amplitude der jährlichen Periode beträgt für Calcutta 17 Millimeter; in Amerika scheint diese Amplitude, welche ebenfalls mit der Entfernung vom Aequator abnimmt, geringer zu sein.

Auch in höheren Breiten ist der mittlere Barometerstand im Winter höher als in allen übrigen Jahreszeiten, allein die Differenz des größten und des kleinsten Monatsmittels ist weit geringer als in den Tropen. Außerdem aber ist in größerer Entfernung vom Aequator der periodische Gang des mittleren Barometerstandes im Laufe des Jahres auch weniger regelmäßig, wie man sowohl aus der Tabelle, als auch in den Figuren sehen kann.

165 **Einfluss der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers.** Da das Barometer die Größe des Druckes anzeigt, welchen die über uns befindliche Luft ausübt, so werden die Schwankungen des Barometers auf hohen Bergen, wo eine Luftsäule von weit geringerer Höhe und Dichtigkeit drückt, auch geringer sein müssen als in der Tiefe, und es läßt sich erwarten, daß in gewissen Höhen über dem Meeresspiegel die Veränderungen des Luftdrucks fast ganz unmerklich werden. Daß die Erhebung über das Niveau des Meeres wirklich einen solchen Einfluß ausübt, geht aus den Barometerbeobachtungen hervor, welche Kämtz auf dem Rigi und auf dem Faulhorn angestellt hat, und welche in der folgenden Tabelle mit den gleichzeitigen mittleren Barometerständen der verschiedenen Tagesstunden zu

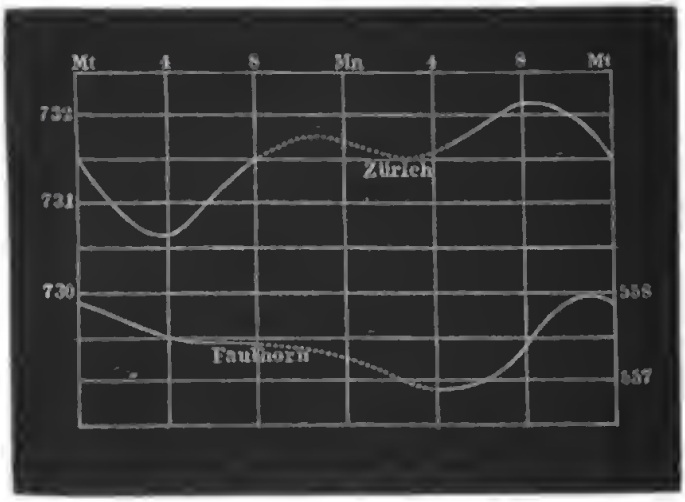
Zürich zusammengestellt sind. Die Zahlen von 10 Uhr Abends bis 5 Uhr Morgens sind durch Interpolation bestimmt.

Stunden.	Zürich.	Rigi.	Unterschiede.	Zürich	Faulhorn.	Unterschiede.
	mm 720 +	mm 610 +	mm 100 +	mm 730 +	mm 550 +	mm 170 +
Mittag.	4,08	4,36	9,72	1,58	7,88	3,70
1	3,92	4,37	9,57	1,25	7,75	3,50
2	3,82	4,38	9,45	0,99	7,66	3,33
3	3,72	4,34	9,38	0,71	7,59	3,13
4	3,63	4,34	9,30	0,64	7,50	3,15
5	3,61	4,30	9,31	0,76	7,19	3,27
6	3,76	4,38	9,38	0,92	7,51	3,41
7	3,95	4,10	9,57	1,21	7,41	3,80
8	4,22	4,57	9,87	1,52	7,43	4,10
9	4,55	4,70	9,85	1,72	7,44	4,27
10	4,61	4,72	9,90	1,79	7,41	4,39
11	4,68	4,68	10,00	1,77	7,36	4,41
Mitternacht.	4,58	4,58	10,01	1,72	7,28	4,44
1	4,43	4,45	9,99	1,63	7,19	4,45
2	4,28	4,30	9,98	1,54	7,08	4,47
3	4,19	4,17	10,03	1,51	6,96	4,55
4	4,18	4,09	10,10	1,54	6,90	4,65
5	4,25	4,03	10,23	1,66	6,90	4,76
6	4,31	4,03	10,28	1,79	7,05	4,76
7	4,38	4,05	10,33	1,97	7,16	4,80
8	4,41	4,13	10,28	2,13	7,36	4,77
9	4,38	4,16	10,22	2,20	7,62	4,57
10	4,29	4,23	10,06	2,12	7,89	4,24
11	4,19	4,31	9,86	1,87	7,99	3,97

Hier zeigt sich der Einfluß der Höhe auf die Größe der täglichen Variationen entschieden. Die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande ist in Zürich 1,56 Millimeter, während sie auf dem Faulhorn nur 1,09 Millimeter ist. Außer der Größe der Schwankungen zeigt sich aber auch im Gange des Barometers eine große Verschiedenheit, wie man am besten aus Fig. 230 (a. f. S.) ersieht, in welcher die täglichen Variationen auf dem Faulhorn und in Zürich durch Curven anschaulich gemacht sind. Die Zahlen rechts beziehen sich auf die untere, die Zahlen links auf die obere Curve. Man sieht, daß am Nachmittag das Barometer an beiden Orten sinkt; in Zürich steigt es aber von 4 Uhr an bis gegen 10 Uhr Abends, während auf dem Faulhorn das Sinken bis 5 Uhr Morgens fortdauert; nun steigt auf dem Faulhorn das Barometer wieder bis gegen Mittag, während es in Zürich schon um 9 Uhr Morgens seinen höchsten

Stand erreicht; auf dem Faulhorn iſt alſo im Laufe des Tages nur ein entſchiedenes Maximum und ein entſchiedenes Minimum wahrzunehmen.

Fig. 230.



166 **Mittlere monatliche Schwankungen.** Es iſt bereits erwähnt worden, daß in unſeren Gegenden die periodiſchen Schwankungen des Barometers durch die zufälligen, nicht periodiſchen maskirt ſind, daß man die periodiſchen Schwankungen nur durch Mittelzahlen aus lange fortgeſetzten Beobachtungsreihen nachweiſen kann. Wir wollen uns jetzt zur Betrachtung der nicht periodiſchen Schwankungen wenden und zunächſt den Einfluß der Jahreszeiten auf die Größe derſelben kennen lernen.

Nach den vom phyſikaliſchen Vereine zu Frankfurt a. M. angeſtellten meteorologiſchen Beobachtungen ſind Folgendes die Unterſchiede des höchſten und tiefſten Tagesmittels für jeden der 12 Monate vom Jahre 1837 bis 1843 in Pariſer Linien:

	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	Mittel.
Januar . . .	9,5	10,5	15	13,5	15	10,5	18	13,1
Februar . . .	13	15	10,5	15,5	10	13	13	13
März	6,5	12,5	10	8,5	13	12	7,5	10
April	8,5	8	6,5	8	8	11,5	8	8,3
Mai	6	7,5	7	11	7,5	6,5	7	7,5
Juni	3,5	5,5	7,5	5,5	8,5	5	5	5,8
Juli	4,5	5,5	4,5	6,5	7	7	8,5	6,2
Auguſt . . .	8,5	7,5	8,5	6	8	7	5,5	7,3
September . .	8	9,5	9,5	9,5	6	8	9	8,3
October . . .	11	8,5	4	13	11	13	11	10,2
November . .	13	12	7,5	14	16,5	14	7	12
December . .	9,5	9,5	9,5	12,5	10	8,5	7,5	9,6

Man erſieht aus dieſer Tabelle, daß die Größe der nicht periodiſchen Schwankungen im Sommer kleiner iſt als im Winter, beſonders deutlich erſieht man dies aus den Mittelzahlen der letzten Columne. Nimmt man das Mittel aus den 12 Zahlen der letzten Columne, ſo erhält man den Werth 9,28 Pariſer Linien oder 20,4 Millimeter als Durchſchnittswerth für die Differenz der monatlichen Extreme.

Dies iſt jedoch noch nicht der wahre Mittelwerth für die Größe der monatlichen Schwankungen; denn wir haben ja nicht die Differenz des im Laufe eines Monats beobachteten höchſten und niedrigſten Barometerſtandes, ſondern nur den Unterſchied des höchſten und tiefſten mittleren täglichen Barometerſtandes in Rechnung gebracht.

Die folgende Tabelle enthält die mittlere monatliche Amplitude der Barometerſchwankungen an verſchiedenen Orten der Erde.

Batavia	6°	12′	S.	2,98mm
Tivoli (St. Domingo) . .	18	35	N.	4,11
Havannah	23	9		6,38
Calcutta	22	34		8,28
Teneriffa.	28	26		8,48
Funchal (Madeira)	22	37		10,42
Cap der guten Hoffnung . .	33	55	S.	12,45
Rom	41	53	N.	17,15
Montpellier	43	36		18,02
Mailand	45	28		19,24
Wien	48	13		20,53
Prag	50	5		21,54
Paris.	48	50		23,66
Mannheim	48	29		23,66
Moskau	55	46		24,05
Berlin	52	31		25,24
New-Haven (Connecticut) .	41	10		25,29
Jakutzk	62	2		25,92
London	51	31		27,88
Petersburg	59	56		29,24
Nain (Labrador)	57	8		32,35
Chriſtiania	59	55		33,05
Raes (Island)	64	30		35,91

Die nicht periodiſchen Barometerſchwankungen ſind alſo nicht allein im Winter größer als im Sommer, ſondern ſie ſind auch in kalten Ländern bedeutender als in heißen, d. h. ſie nehmen im Allgemeinen um ſo mehr zu, je weiter man ſich vom Aequator entfernt.

Solche Linien auf der Erdoberfläche, welche alle Orte mit einander verbinden, für welche die mittlere monatliche Amplitude der Barometerſchwankungen dieſelbe iſt, heißen *iſobarometriſche Linien*.

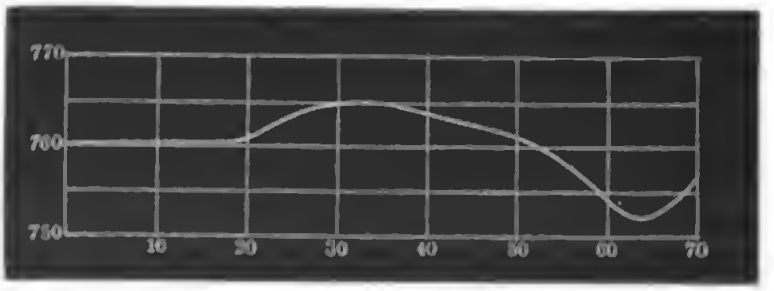
Wir können hier den Lauf der isobarometrischen Linien nicht weiter verfolgen und müssen uns auf einige allgemeine Bemerkungen beschränken. Aus der eben mitgetheilten Tabelle ersieht man, daß die isobarometrischen Linien durchaus nicht mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Calcutta und Havannah liegen nahe in gleicher Breite, und doch sind die Barometerschwankungen in Calcutta weit bedeutender. An der Ostküste von Nordamerika sind die zufälligen Schwankungen des Barometers viel größer als an den Westküsten von Europa, sie sind in New-Haven und dem 11° 21′ nördlicher gelegenen Berlin fast gleich, die isobarometrischen Linien steigen also von den Ostküsten Nordamerikas nach Europa und entfernen sich dann um so weiter vom Aequator, je weiter man ins Innere des Continents der alten Welt kommt.

167 **Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres.** Man glaubte früher, daß der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel allenthalben derselbe sei; dies ist jedoch nicht der Fall, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, in welcher die mittleren Barometerstände verschiedener nicht merklich über dem Meeresspiegel gelegener Orte zusammengestellt sind.

Cap der guten Hoffnung .	33°	S.	763,01mm
Rio Janeiro	23		764,03
Christianborg	5°	30′ N.	760,10
St. Thomas	19		760,51
Macao	23		762,99
Madeira	32	30	765,18
Neapel	41		762,95
Paris	49		761,41
Edinburgh	56		758,25
Reikiavig	64		752,00
Spitzbergen	75	30	756,76

Wir sehen aus dieser Tabelle, wie dies in Fig. 231 auch graphisch dargestellt ist, daß der mittlere Barometerstand am Meere vom Aequator nach dem

Fig. 231.



Nordpole hin erst wenig, dann rascher zunimmt, daß er zwischen dem 30. und 40. Breitengrade sein Maximum erreicht, dann weiter nach Norden hin wieder abnimmt und zwischen dem 60. und 70. Grade nördlicher Breite am kleinsten ist.

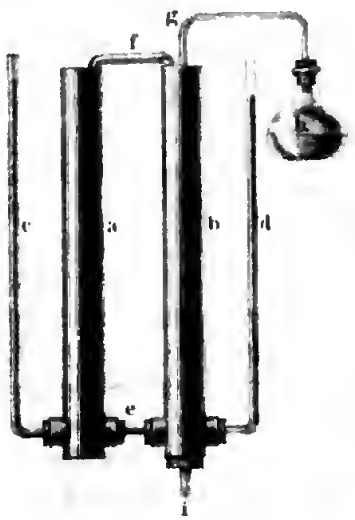
Ursachen der Barometerschwankungen. Die letzte Ursache aller 168
Barometerschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung; bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt.

Daß wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, daß sie in den Tropen, wo die Temperatur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind; in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr groß; ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Im Allgemeinen kann man leicht darthun, daß die ungleiche stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Größe des Luftdrucks zur Folge haben muß.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muß also an den wärmeren Orten abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muß das Barometer steigen, weil sich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfließende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Fig. 232.



Es läßt sich dies durch den Apparat Fig. 232, anschaulich machen. *a* und *b* sind Blechröhren von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuß Höhe, welche unten bei *e* durch ein Stück Thermometerrohr verbunden sind. Mit der Blechröhre *a* ist die Glasröhre *c*, mit der Röhre *b* ist die Glasröhre *d* in Verbindung. Wenn man in eine der Röhren *b* oder *a* Wasser gießt, so wird dasselbe nur langsam durch die enge Röhre bei *e* in die andere Röhre fließen können. Wenn man beide Röhren *a* und *b* fast bis oben füllt und sie dann oben durch ein hinlänglich weites Heberrohr *f* in Verbindung setzt, so muß sich das Wasser in allen vier Röhren, *c*, *a*, *b* und *d*, gleich hoch stellen. Nun aber geht durch das Blechrohr *b* von oben bis unten ein unten offenes

Glasrohr *gi* hindurch, durch welches die in dem Kolben *h* mittelſt einer Weingeiſtlampe entwickelten Waſſerdämpfe hindurchgeleitet werden. In unſerer Figur iſt der Kolben *h* neben die Röhre *d* gezeichnet worden; es iſt aber beſſer, wenn er, was ſich in der Figur nicht ſo gut hätte darſtellen laſſen, hinter *b* ſich befindet.

Da das Rohr *gi* mit kaltem Waſſer umgeben iſt, ſo werden die durchſtreichenden Dämpfe verdichtet, und das Waſſer in *b* wird erwärmt. Wenn nun zwiſchen *a* und *b* gar keine Verbindung wäre, ſo würde die Waſſerſäule in *b* ſteigen, ohne daß das Waſſer in *d* ſteigt, weil *b* erwärmt wird, *d* aber kalt bleibt: da aber die Röhren *b* und *a* oben durch die Heberröhre *f* verbunden ſind, ſo kann das Waſſer in *b* nicht höher ſtehen als in *a*, ein Theil des in *b* erwärmten Waſſers fließt nach *a* über, und in Folge deſſen ſinkt das Waſſer in *d*, in *c* aber ſteigt es, weil zu dem ſchon in *a* vorhandenen Waſſer noch neues durch den Heber *f* hinzukommt.

Wäre *e* eine hinlänglich weite Röhre, ſo würde das Waſſer in allen vier Röhren ſtets gleich hoch bleiben, weil in dem Maße, als warmes Waſſer durch *f* nach *a* fließt, unten umgekehrt kaltes Waſſer durch *e* nach *b* fließen, weil ſich alſo das geſtörte Gleichgewicht in jedem Augenblicke wieder herſtellen würde; dies iſt aber nicht möglich, weil die Röhre *e* zu enge iſt. Ebenſo wird in erkalteten Gegenden der Luftdruck zu-, in erwärmten abnehmen, weil die Luft in den unteren Regionen nicht ſchnell genug der erwärmten Gegend zuſtrömen kann, um das geſtörte Gleichgewicht ſogleich wieder herzuſtellen.

Dadurch erklärt ſich auch, warum in unſeren Gegenden im Durchſchnitte bei Südweſtwinden das Barometer am tiefſten, bei Nordoſtwinden am höchſten ſteht; die Südweſtwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordoſtwinde kältere Luft zuführen. Da wo ein warmer Luftſtrom weht, müßte die Atmoſphäre eine größere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftſäule an beiden Orten derſelbe ſein ſollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, ſo würde die Luft des warmen Stromes oben abfließen, das Baromerer alſo unter dem warmen Luftſtrome ſinken, unter dem kalten dagegen ſteigen.

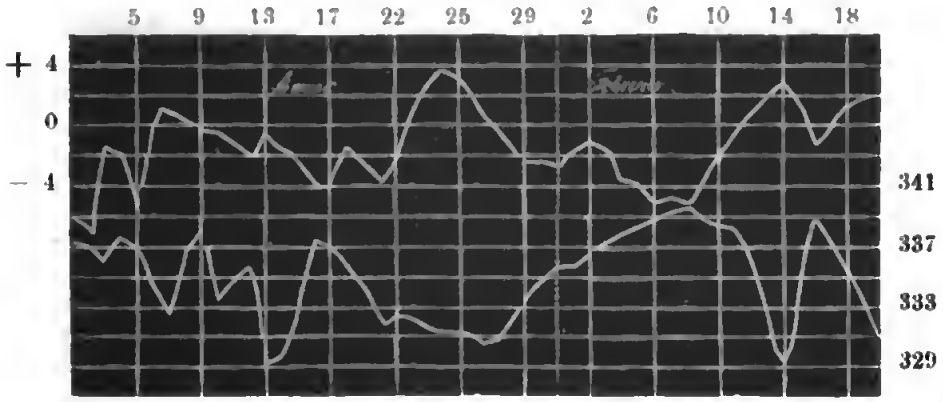
In Europa ſind im Durchſchnitte die Südweſtwinde auch die Regenwinde, weil ſie, von wärmeren Meeren kommend, mit Waſſerdampf geſättigt ſind, welcher ſich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieſer Condenſation des Waſſerdampfes iſt ein zweiter Grund zu ſuchen, warum das Barometer bei Südweſtwinden niedrig ſteht. So lange nämlich der Waſſerdampf als förmliches Gas einen Beſtandtheil der Atmoſphäre ausmacht, iſt ihm ein Theil des atmoſphäriſchen Druckes zuzuſchreiben, ein Theil der Queckſilberſäule im Barometer wird durch den Waſſerdampf getragen; das Barometer muß alſo ſinken, wenn der Waſſerdampf aus der Atmoſphäre durch Verdichtung ausgeſchieden wird.

Dieſer Umſtand erklärt auch, daß der mittlere Barometerſtand am Meere zwiſchen dem 60. und 70. Breitengrade ſo gering iſt; die Luft, welche von

ſüdlichen Gegenden herkommt, verliert mehr und mehr ihren Waſſergehalt, der Druck, den ſie ausübt, muß alſo nach und nach abnehmen.

Nach der eben entwickelten Anſicht iſt das Sinken des Barometers eine Erſcheinung, welche das Wehen warmer Winde begleitet, während kalte Winde ein Steigen des Barometers veranlaſſen; im Allgemeinen wird alſo das Thermometer ſteigen, wenn das Barometer fällt. Dies iſt auch in der That der Fall, und zwar tritt dieſer Gegenſatz im Gange der beiden Inſtrumente am deutlichſten im Winter auf. Die Figur 233, welche den Beobachtungen des phyſikaliſchen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen iſt, zeigt den Gang der

Fig. 233.



mittleren täglichen Temperatur (obere Curve) und des mittleren täglichen Barometerſtandes (untere Curve) daſelbſt vom 1. Januar bis zum 20. Februar 1837; man ſieht, wie in der That das Barometer gewöhnlich ſteigt, wenn das Thermometer fällt, und daß ein barometriſches Minimum meiſtens mit einem thermometriſchen Maximum zuſammenfällt.

Die Beobachtungen anderer Jahre und anderer Orte geben daſſelbe Reſultat.

Wenn dieſer Gegenſatz im Sommer nicht ſo rein auftritt, ſo iſt der Grund davon darin zu ſuchen, daß die an ſich warmen Südweſtwinde im Sommer doch eine kühlere Temperatur zur Folge haben, weil, wenn ſie wehen, der Himmel meiſtens bewölkt iſt und dadurch die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenſtrahlen verhindert wird, während die abkühlende Wirkung der Nordoſtwinde dadurch neutraliſirt wird, daß ſich bei heiterem Himmel durch die kräftig wirkenden Sonnenſtrahlen der Boden bedeutend erwärmt. Damit hängt auch die geringe Amplitude der Barometerſchwankungen im Sommer zuſammen.

Da die Südweſtwinde, welche in unſeren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regneriſches Wetter bringen, während das Barometer ſteigt, wenn Nordoſtwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, ſo kann manallerdings ſagen, daß im Allgemeinen ein hoher Barometerſtand ſchönes Wetter, ein tiefer aber ſchlechtes Wetter anzeigt. Dies iſt aber, wie geſagt, nur eine Durchſchnittsregel, denn

bei Nordoſtwind iſt der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südweſtwind auch manchmal heiter; ſie iſt jedoch in derſelben Ausdehnung wahr wie die, daß bei Nordoſtwind das Barometer hoch, bei Südweſtwind dagegen tief ſteht; dies iſt auch nicht immer, ſondern nur im Durchſchnitte wahr. Wir können uns von ſolchen Anomalien keine Rechenſchaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt ſind, welche den Gleichgewichtszuſtand der Atmoſphäre bedingen.

Daß ein hoher Barometerſtand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, iſt auch nur für ſolche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden ſind. An dem Ausfluſſe des La Plataſtromes z. B. ſind die kalten Südoſtwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer ſteigen machen, die Regenwinde; die warmen Nordweſtwinde aber, bei welchen das Barometer ſinkt, ſind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umſtande, daß dort der Regen durch kalte Winde gebracht wird, iſt die geringere Regenmenge dieſer Gegenden zuzuſchreiben, während unter gleicher Breite an den Weſtküſten von Südamerika ſehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordweſtwind zugleich ein Seewind iſt.

Die tägliche Periode der Barometerſchwankungen iſt weſentlich durch die Veränderungen im Feuchtigkeitszuſtande der Luft bedingt; wir werden deshalb auf dieſen Gegenſtand zurückkommen, wenn wir die Veränderungen werden kennen gelernt haben, welche der Waſſergehalt der Luft im Laufe des Tages erleidet.

169 **Entſtehung der Winde.** Wenn man im Winter die in einen kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 234 ſieht, ſo zeigt die nach außen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftſtrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, ſo ſtellt ſich die Flamme immer mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung ſteht ſie ganz ſtill, ſie iſt hier nicht durch Luftſtrömungen afficirt; bringt man ſie aber noch weiter herunter, ſo wird die Flamme von außen nach innen getrieben. Man ſieht alſo, daß die erwärmte Luft oben aus- und daß dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einſtrömt.

Fig. 234.

Wie hier im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftſtrömungen veranlaßt, ſo iſt auch die ungleiche ſtets wechſelnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr ſchwebenden Luftmeeres die Urſache der Luftſtrömungen, die wir **Winde** nennen. Auch im Großen ſieht man die Luft in den ſtärker erwärmten Gegenden aufſteigen und in der Höhe

nach den kälteren abfließen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer; über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auf dem Meere schon in größerer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Dann erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch' eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch' ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird. Daß auf diese Weise, also gleichsam durch Saugen, häufig Winde, und namentlich Stürme erzeugt werden, dafür sprechen zahlreiche Erfahrungen. Wargentin bemerkt, daß der Westwind in der Regel zu Moskau eher als zu Abo beobachtet wird, obgleich letztere Stadt bedeutend westlicher liegt als Moskau; auch bläst dieser Westwind in Finnland oft eher als in Schweden.

Franklin erzählt, daß, als er zu Philadelphia eine Mondfinsterniß beobachten wollte, er daran durch einen Nordoststurm verhindert wurde, welcher sich gegen 7 Uhr Abends einstellte und den Himmel mit dichten Wolken überzog; er war überrascht, einige Tage nachher zu erfahren, daß der Sturm zu Boston, welches ungefähr 300 englische Meilen nordöstlich von Philadelphia liegt, erst um 11 Uhr Abends angefangen hatte, nachdem schon die ersten Phasen der Mondfinsterniß beobachtet worden waren. Indem er alle Berichte aus den verschiedenen Colonien mit einander verglich, bemerkte Franklin durchgängig, daß dieser Nordoststurm an verschiedenen Orten um so später sich eingestellt hatte, je weiter sie nach Norden lagen.

Es ist bekannt, daß zwischen Häusern der Wind oft in anderer Richtung

weht als über den Gebäuden, weil durch dieſe die Windrichtung auf mannigfache Art modificirt wird. Gerade ſo wie die Häuſer können aber auch Gebirge locale Störungen in der Windrichtung bewirken.

Oft ſieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die iſt, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer ſchwebenden, woraus hervorgeht, daß in verſchiedenen Höhen Luftſtrömungen nach verſchiedener Richtung ſtattfinden.

170 **Passatwinde und Moussons.** Als Columbus auf ſeiner Entdeckungsreiſe nach Amerika ſeine Schiffe durch einen beſtändigen Oſtwind fortgetrieben ſah, wurden ſeine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil ſie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieſer in den Tropen beſtändig von Oſten nach Weſten wehende Wind, welcher ſo ſehr das Erſtaunen der Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, iſt der Paſſatwind. Die Schiffer benutzen dieſen Wind, um von Europa nach Amerika zu ſegeln, indem ſie von Madeira aus ſüdlich bis in die Nähe des Wendekreiſes ſteuern, wo ſie dann durch den Paſſat nach Weſten getrieben werden. Dieſe Reiſe iſt ſo ſicher und die Arbeit der Matroſen dabei ſo gering, daß die ſpaniſchen Seeleute dieſen Theil des atlantiſchen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südſee weht dieſer Wind; die ſpaniſchen Schiffer ließen ſich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantiſchen Ocean erſtreckt ſich der Paſſatwind im Mittel bis zum 28., im großen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heißen Zone iſt die Richtung des Paſſatwindes eine nordöſtliche; je mehr er ſich aber dem Aequator nähert, deſto mehr wird ſeine Richtung rein öſtlich. Die Gränze des Paſſats iſt in der ſüdlichen Halbkugel weniger genau beſtimmt; dort aber hat der Paſſat eine ſüdöſtliche Richtung, die mehr und mehr öſtlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Dieſe Winde wehen rund um die ganze Erde, doch ſind ſie in der Regel erſt 50 Meilen weit vom feſten Lande entſchieden merklich.

Da, wo der Nordoſtpaſſat der nördlichen und der Südoſtpaſſat der ſüdlichen Hemiſphäre zuſammentreffen, combiniren ſie ſich zu einem rein öſtlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intenſität der Sonnenſtrahlen ſtark erwärmten und deshalb mächtig aufſteigenden Luft eben durch dieſe verticale Bewegung neutraliſirt wird. Es würde in dieſen Gegenden eine faſt vollkommene Windſtille herrſchen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die faſt täglich unter Donner und Blitz ſtattfindenden Regengüſſe begleiten, die Ruhe der Atmoſphäre ſtörten und das Wehen ſanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

Die Zone, welche die Paſſatwinde der beiden Hemiſphären trennt, iſt die Region der Calmen.

Auf der Karte Tab. XXIII ſind die Gegenden, wo regelmäßige Winde herrſchen, durch einen rothen Farbenton ausgezeichnet. Die Region der Calmen fällt, wie man ſieht, nicht mit dem Aequator zuſammen, ſondern ihre Mitte liegt

ungefähr 6° nördlich von demſelben. Während unſerer Sommermonate iſt der Gürtel der Calmen breiter und ſeine nördliche Gränze entfernt ſich noch vom Aequator, während gleichzeitig auch die Region des Nordoſtpaſſates weiter nach Norden rückt; die Gränzen dieſer Wanderung im atlantiſchen Ocean erſieht man aus der folgenden kleinen Tabelle:

	Nördliche Gränze des Nordoſtpaſſats	Nördliche Gränze der Region der Calmen.	Südliche Gränze der Region der Calmen.
Winter	$24\frac{3}{4}^{0}$ nördl. Br.	$5\frac{3}{4}^{0}$ nördl. Br.	$2\frac{1}{2}^{0}$ nördl. Br.
Frühling . . .	28 » »	$5\frac{3}{4}$ » »	$1\frac{1}{2}$ » »
Sommer . . .	$30\frac{3}{4}$ » »	$11\frac{1}{3}$ » »	$3\frac{1}{4}$ » »
Herbſt	$28\frac{1}{3}$ » »	10 » »	$3\frac{1}{4}$ » »
Jahresmittel . .	28^{0} nördl. Br.	$8\frac{1}{4}^{0}$ nördl. Br.	$2\frac{2}{3}^{0}$ nördl. Br.

Man ſieht aus dieſer Tabelle auch, daß die Südgränze der Calmenregion ihre Lage im Laufe des ganzen Jahres nur wenig ändert.

Daß die Region der Calmen auf der nördlichen Hemiſphäre liegt, rührt offenbar von der Configuration der Continente her.

Schon Halley hat die Grundurſache der Paſſatwinde richtig erkannt. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden ſtark erwärmt in die Höhe ſteigt, erhebt ſich über die kälteren Luftmaſſen zu beiden Seiten und ſtrömt oben wieder nach den Polen hin ab. Daß aber der Paſſatwind auf der nördlichen Halbkugel nicht ein reiner Nord-, auf der ſüdlichen Halbkugel nicht ein reiner Südwind, ſondern vielmehr Nordoſt und Südoſt iſt, das iſt, wie Halley ſpäter zeigte, eine Folge der Umdrehung der Erde um ihre Axe.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, deſto langſamer wird er ſich in dem während 24 Stunden zu beſchreibenden Kreiſe fortbewegen, weil dieſer Kreis um ſo kleiner iſt, je weiter man ſich vom Aequator entfernt. Demnach iſt auch die Rotationsgeſchwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmaſſe in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmaſſe aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, ſo gelangt ſie mit geringerer Rotationsgeſchwindigkeit über Ländern an, welche ſich ſchneller von Weſten nach Oſten bewegen; in Beziehung auf dieſen unter ihr ſich fortbewegenden Boden hat alſo die Luft eine Bewegung von Oſten nach Weſten. Dieſe Bewegung combinirt ſich mit der gegen den Aequator hin fortſchreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nordoſt-, auf der ſüdlichen aber zu einem Südoſtwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufſteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um ſich nach den Polen hin zu ergießen. Die Richtung dieſes oberen Paſſats iſt natürlich der des unteren gerade entgegengeſetzt, ſie iſt in der nördlichen Halbkugel eine ſüdweſtliche, in der ſüdlichen Halbkugel eine nordweſtliche.

Daß in den oberen Luftregionen wirklich ein Paſſat weht, welcher dem unteren entgegengeſetzt iſt, läßt ſich durch Thatſachen beweiſen; ſo wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulkans von Coſiguina im Staate Guatemala die Aſche bis in die Höhe des oberen Paſſats geſchleudert, der ſie in ſüdweſtlicher Richtung fortführte, ſo daß ſie auf der Inſel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Luftſchichten der Nordoſtpaſſat herrſchte.

In größerer Entfernung vom Aequator ſenkt ſich der obere Paſſat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrſchen faſt immer Weſtwinde, während am Meeresſpiegel der untere Paſſat weht.

Im indiſchen Ocean iſt die Regelmäßigkeit der Paſſatwinde durch die Configuration der Ländermaſſen, welche dieſes Meer umgeben, namentlich aber durch den aſiatiſchen Continent, geſtört. Im ſüdlichen Theile des indiſchen Oceans, zwiſchen Neuholland und Madagaskar, herrſcht noch das ganze Jahr hindurch der Südoſtpaſſat, in dem nördlichen Theile dieſes Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beſtändiger Südweſt-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beſtändiger Nordoſtwind. Dieſe regelmäßig abwechſelnden Winde werden Mouſſons oder Monſuns genannt.

Der Südweſtwind weht vom April bis zum September, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordoſtwind.

Während in den Wintermonaten der aſiatiſche Continent erkaltet, die Sonne aber in ſüdlicheren Gegenden eine größere Wärme erzeugt, muß natürlich ein Nordoſtpaſſat von dem kälteren Aſien nach den heißeren Gegenden wehen. In dieſer Zeit iſt auch im indiſchen Ocean der Nordoſtpaſſat von dem Südoſtpaſſat durch die Region der Calmen getrennt.

Das Wehen des Südoſtpaſſats wird zwiſchen Neuholland und Madagaskar nicht geſtört, in den nördlichen Theilen des indiſchen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordoſtwind geherrſcht hatte, wird dieſer in einen Südweſtwind verwandelt, weil ſich nun der aſiatiſche Continent ſo ſtark erwärmt und alſo eine Luftſtrömung nach Norden hin veranlaßt, welche durch die Rotation der Erde in einen Südweſtwind verwandelt wird.

In kleinerem Maßſtabe wiederholt ſich die Erſcheinung der Mouſſons an den Küſten von Oberguinea in Afrika und an der Weſtküſte von Südamerika vom 5. Grade ſüdlicher Breite bis zur Landenge von Panama.

171 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Paſſat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, ſenkt ſich, wie ſchon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich als Südweſtwind den Boden; außerhalb der Region der Paſſatwinde gehen daher die beiden Luftſtrömungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequator zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, ſondern neben einander her, ſie ſtreben einander gegenſeitig zu verdrängen; bald erlangt der Südweſt, bald der Nordoſt die Ueberhand und bei dem Uebergange aus einer dieſer Windrichtungen in eine andere ſehen wir die Zwiſchenwinde nach allen Richtungen der Windroſe wehen.

Obgleich auch in höheren Breiten Südweſt und Nordoſt die herrſchenden

Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmäßige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons im indischen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitt unter je 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N.-O.	O.	S.-O.	S.	S.-W.	W.	N.-W.
England	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich . . .	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland . .	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark . . .	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden . . .	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika . .	96	116	49	108	123	197	101	210

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß im westlichen Europa die Südwestwinde entschieden vorherrschen; besonders ist dies in England der Fall. In Rußland dagegen sind die Nordost- und Nordwestwinde vorherrschend.

Der Südwestwind, welcher im westlichen Europa vorherrscht, ist auch auf dem atlantischen Ocean zwischen Europa und Nordamerika der herrschende Wind, und daher kommt es, daß die Ueberfahrt von England nach Nordamerika in der Regel länger dauert als die Rückfahrt. Die Packetboote, welche zwischen Liverpol und New-York fahren, legen den Hinweg durchschnittlich in 40, den Rückweg in 23 Tagen zurück.

Dem im westlichen Europa vorherrschenden Südweststrome, welcher über die warmen Gewässer des atlantischen Oceans gestrichen ist und sich dadurch mit Wasserdämpfen beladen hat, verdankt dieses Land sein Küstenklima. Auch tritt in Europa der Charakter des Seeklimas, nämlich milde Winter und kühle Sommer mit häufigem Regen, in solchen Jahren entschiedener auf, in welchen der Südwestwind häufiger weht; in solchen Jahren hingegen, in welchen die nordöstliche Strömung länger herrscht als gewöhnlich, nähert sich der Charakter der Witterung mehr dem des Continentalklimas. So wehten z. B. im Jahre 1816 zu Paris die Nord-, Nordost-, Ost- und Südostwinde 111 Tage, die übrigen Regen bringenden Winde aber 255 Tage lang, und dieses Jahr war bekanntlich ein ungemein feuchtes; die Regenmenge betrug 54,5^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war nur 15,6°, die des kältesten 2,6°. Im Jahre 1826 wehten dagegen zu Paris die Nord-, Nordost-, Ost- und Südost-Winde 156 Tage, die übrigen 209 Tage lang; die Regenmenge betrug in diesem Jahre nur 47,2^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war 21,2°, die des kältesten — 1,7°. Das Jahr 1826 war also trockener, sein Sommer heißer, und sein Winter kälter als im Jahre 1816.

Wenn in gewissen Gegenden der nördlichen Hemisphäre die Südwestwinde die herrschenden sind, so sollte man meinen, daß in anderen Gegenden der Nordoststrom vorherrschen müsse, da doch die Luft zum Aequator zurückkehren muß. Dove meint, daß die Krümmung der Isothermen darauf hindeutet, daß über die Continente der alten und neuen Welt auf der nördlichen Halbkugel zwei nördliche Ströme gehen, über die zwischenliegenden Oceane aber zwei südliche, die sich eine gewisse Strecke weit über die Continente ausbreiten.

Die Existenz eines vorherrschenden Nordoststroms im Inneren der Continente ist jedoch von Anderen in Zweifel gezogen worden, und in der That zeigen alle bis jetzt gemachten Erfahrungen, daß in höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre entweder Südwest- oder Westwinde vorherrschen. Es scheint darin aber ein Widerspruch zu liegen; es scheint nämlich, als ob auf diese Weise dem Pole mehr Luft zuströmt, als nach dem Aequator zurückkehrt. Dieser Widerspruch läßt sich aber heben, wenn man bedenkt, daß der Südweststrom wärmere, weniger dichte Luft mit sich führt, besonders aber, daß er eine Menge von Wasserdämpfen nach höheren Breiten bringt, welche, hier condensirt, als Regen oder Schnee niederfallen; nach dem Aequator strömt aber nur die ihres Wasserdampfes beraubte Luft in nordöstlicher Richtung zurück; es muß also in der That dem Pole eine größere Gasmenge zuströmen, weil ein Theil dieser Gase, nämlich der Wasserdampf, nicht in Gasform nach dem Aequator zurückströmt.

172 **Gesetz der Winddrehung.** Obgleich bei einer oberflächlichen Betrachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu sein scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, daß die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

Süd, Südwest, West, Nordwest, Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd.

Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten geschildert:

»Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt; es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den eben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne noch nichts davon weiß und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne Südost, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit

steigender Wärme verwandelt sich der bei Südost und Süd fallende Schnee bei Südwest wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt.«

Nicht immer läßt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, nämlich von Süd nach Ost, Nord, West, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Dove hat das Gesetz der Winddrehung auf folgende Weise erklärt:

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an solche Orte, welche eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch Nordost in Ost über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der größeren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen und Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch größerer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voranellen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muß der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passats wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, daß die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

173 **Barometrische und thermometrische Windrose.** Es ist schon mehrfach erwähnt worden, daß die Windrichtung einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer hat. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Barometerhöhe für jeden der acht Hauptwinde an mehreren Orten Europas in Millimetern an.

Winde.	London.	Paris.	Berlin.	Moskau.
Nord	759,20	759,09	758,68	743,07
Nordost	760,71	759,49	759,36	745,06
Ost	758,93	757,24	758,77	743,90
Südost	756,83	754,03	754,69	741,74
Süd	754,37	753,15	751,33	740,63
Südwest	755,25	753,52	752,57	740,34
West	757,28	755,57	756,00	741,06
Nordwest	758,03	757,78	756,62	741,76

Indem man die mittlere Temperatur aller derjenigen Tage nimmt, an welchen im Laufe des Jahres ein und derselbe Wind weht, erhält man die mittlere Temperatur dieses Windes. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Temperatur der Hauptwinde für mehrere Orte an.

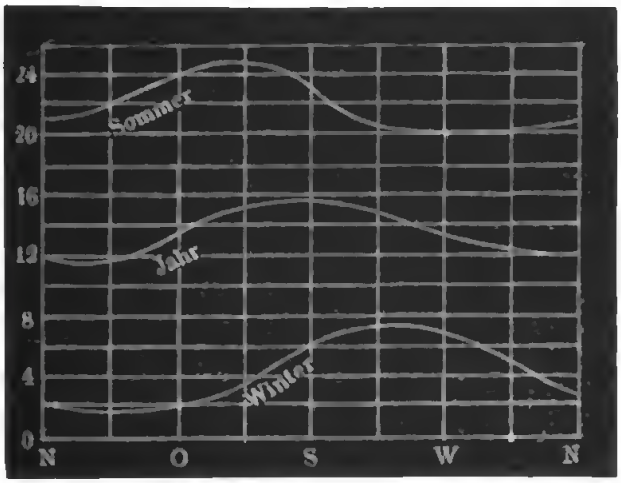
Winde.	Paris.	Carlsruhe.	London.	Moskau.
Nord	12,03	9,88	8,00	1,21
Nordost	11,76	8,30	7,63	1,44
Ost	13,50	8,51	8,38	3,53
Südost	15,25	12,20	9,50	4,63
Süd	15,43	12,61	10,00	5,96
Südwest	14,93	11,00	10,13	5,69
West	13,64	12,20	9,25	5,49
Nordwest	12,39	11,50	8,38	3,33

Nach dieser Tabelle ist für Paris die mittlere der drei Curven in Fig. 235 construirt. Man sieht, wie für Paris, sowie für die anderen angeführten Orte, die Temperatur der Luft im Durchschnitt für die nördlichen Winde niedriger ist als für die südlichen.

Die oberste und unterste der drei Curven zeigen, wie sich im Durchschnitt die mittlere Temperatur im Sommer und im Winter zu Paris (und im westlichen Europa überhaupt) mit der Windrichtung ändert. Es zeigt sich hier zwi-

ſchen Sommer und Winter ein entſchiedener Gegenſatz. Im Sommer bringen Südweſt-, Weſt- und Nordweſtwinde die niedrigſte Temperatur, während im Winter gerade die Südweſt- und Weſtwinde eine Erhöhung der Lufttemperatur

Fig. 235.



zur Folge haben, und die größte Kälte bei Nord-, Nordoſt- und Oſtwinden ſtattfindet. Der Grund davon iſt leicht einzuſehen. Die weſtlichen Winde kommen über das Meer zu uns und überziehen den Himmel meiſtens mit einer Wolkendecke, welche ſowohl die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenſtrahlen bei Tag, als auch die Erkaltung deſſelben durch Ausſtrahlung der Wärme bei Nacht verhindert. Im Sommer iſt die Wirkung der Sonnenſtrahlen bei Tag, im Winter dagegen iſt die nächtliche Strahlung überwiegend, die Wolkenhülle hindert alſo im Sommer die ſtärkere Erwärmung, im Winter die ſtärkere Erkaltung des Bodens. Dagegen werden im Sommer diejenigen Winde eine größere Wärme bringen, welche den Himmel heiter machen, während im Winter gerade bei heiterem Himmel die größte Kälte eintreten muß.

Heisse Winde. Da die Luft ihre Wärme von dem Boden empfängt, 174
auf welchem ſie ruht, ſo iſt es begreiflich, daß die Temperatur der Winde von der Beſchaffenheit der Gegenden abhängt, von welchen ſie herkommen. Winde, welche von den mit Schnee und Eis bedeckten Polar-Gegenden kommen, bringen eine niedrige Temperatur mit, und ſelbſt im Sommer iſt in unſeren Gegenden der erkaltende Einfluß der Nordoſtwinde nicht ganz verwiſcht. Obgleich der Nordoſt den Himmel heiter macht und die kraftvolle Einwirkung der Sonnenſtrahlen in dieſer Jahreszeit ermöglicht, ſo findet um dieſe Zeit doch die größte Hitze Statt, wenn Oſt- und Südoſtwinde wehen.

Die Meeresoberfläche wirkt im Allgemeinen ermäßigend auf die Temperatur der Luft, weil das Waſſer ſelbſt die Wärmeſtrahlen weniger abſorbirt als das Feſtland, und weil eine bedeutende Wärmemenge bei der auf dem Meere fortwährend ſtattfindenden Verdunſtung gebunden wird.

Wo die Sonnenstrahlen nahe rechtwinklig auf einen nicht durch eine Pflanzendecke geschützten Fels- oder Sandboden fallen, da wird der Boden außerordentlich stark erhitzt werden, und diese hohe Temperatur wird sich auch der Luft mittheilen, welche auf dem erhitzten Boden ruht; es ist deshalb begreiflich, daß die Winde, welche von vegetationslosen Wüsten der Tropen oder ihren benachbarten Landstrichen kommen, sich durch eine hohe Temperatur auszeichnen.

Die von der Wüste her wehenden heißen und trockenen Winde führen in verschiedenen Gegenden verschiedene Namen. In Arabien, Persien und den meisten Gegenden des Orients wird dieser heiße Wind Samum (Giftwind) genannt; in Aegypten, wo er im Frühjahr ungefähr 50 Tage lang weht, heißt er Chamsin (fünfzig), an den westlichen Gränzen der Sahara in Senegambien und Guinea führt er den Namen Harmattan.

Alle Berichte stimmen darin überein, daß sich die Annäherung der Wüstenwinde schon durch eine Verdüsterung des sonst in jenen Gegenden reinen Horizontes ankündigt. Die Luft verliert ihre Durchsichtigkeit, die Sonne ihren Glanz und, blasser als der Mond, wirft sie keinen Schatten mehr, das Grün der Bäume erscheint als schmutziges Blau. Es rührt dies von den Sand- und Staubtheilchen her, welche der Sturm in die Höhe jagt und mit sich fortführt. Gerade dieser Umstand aber trägt dazu bei, die Temperatur der Luft so sehr zu erhöhen; denn wenn der oft bis zu 50° R. erhitzte Sand in die Höhe gejagt wird, so geben die einzelnen Sandkörnchen bald einen Theil ihrer Wärme an die Luft ab, deren Temperatur dadurch auf 34 bis 38° R. steigt. Dazu ist die Luft ungemein trocken; deshalb verschwindet rasch der Schweiß von der Oberfläche des Körpers, der Gaumen wird trocken, die Respiration schwierig. Ebenso ist das Wasser, welches die Reisenden der Wüste in Schläuchen mit sich führen, unter dem Einfluß des Samums einer raschen Verdunstung ausgesetzt. Nur durch diese Trockenheit, nicht etwa durch eigenthümlich giftige Bestandtheile, wie man wohl früher glaubte, ist der Samum gefährlich. (Kämtz, Meteorologie, 1. Bd. S. 267.)

In ähnlicher Weise wie bei den Sandwüsten von Asien und Afrika zeigen sich heiße Winde überall da, wo mehr oder weniger vegetationslose Landstriche eine starke Erhitzung des Bodens gestatten. So sind in Neuholland die vom Lande her kommenden Winde fast immer sehr trocken und heiß.

Im südlichen Europa finden wir noch sehr heiße Winde, so den Solano im südlichen Spanien und den Siroeco in Italien, welcher zu Palermo öfters das Thermometer im Schatten bis auf 36° R. steigen macht. Diese Winde kommen von Afrika her. Auf dem Wege über das Meer verlieren sie zwar etwas von ihrer hohen Temperatur und namentlich von ihrer Trockenheit, allein in den Ebenen von Andalusien und über den nackten Felsen von Sicilien werden sie aufs Neue erhitzt, und so kommt es denn, daß der Siroeco zu Palermo weit heißer ist als an den Südküsten von Sicilien und auf der Insel Malta. Bis zu den Alpen hin, wo er unter dem Namen des Föhn bekannt ist, behält dieser Wind eine ungemein hohe Temperatur, vermöge welcher er bedeutend zum Schmelzen der Schneemassen in jenen Gebirgen beiträgt.

Stürme. Die Geſchwindigkeit des Windes iſt eine ſehr veränderliche 175
Größe. Ein Wind, deſſen Geſchwindigkeit nicht über 4 Fuß in der Secunde beträgt, iſt kaum merklich. Bei einer Geſchwindigkeit von 6 bis 8 Fuß in der Secunde iſt der Wind angenehm. Ein ſtarker Wind hat 30 bis 40, ein heftiger Wind hat 40 bis 60 Fuß Geſchwindigkeit in der Secunde. Geht die Geſchwindigkeit des Windes über dieſe Gränze hinaus, ſo wird er Sturm genannt. Die ſtärkſten Stürme, deren Geſchwindigkeit 120 bis 150 Fuß in der Secunde (30 bis 37 deutſche Meilen in der Stunde) beträgt, werden mit dem Namen Orkane bezeichnet.

Von der mechaniſchen Gewalt eines ſolchen Orkanes kann man ſich einen Begriff machen, wenn man bedenkt, daß er bei der angegebenen Geſchwindigkeit gegen eine Oberfläche von 1 Quadratfuß, welche der Richtung des Sturmes rechtwinklig entgegengeſetzt iſt, einen Druck von 30 bis 50 Pfunden ausübt.

Furchtbar ſind in der That die Verheerungen, welche ſolche Stürme anrichten. Der große Sturm, welcher in der Nacht vom 26. auf den 27. November 1703 Frankreich, England und die Niederlande heimſuchte, ſtürzte in England 800 Häuſer und 400 Windmühlen um; durch denſelben wurden 250,000 mächtige Baumſtämme zerſplittert oder entwurzelt, 100 Kirchen abgedeckt und der Leuchtthurm von Eddyſtone umgeworfen; 300 Schiffe gingen an der Küſte zu Grunde.

Im November 1836 wüthete ein Sturm an den Küſten von Frankreich und Belgien. In Oſtende war kaum ein Haus, welches nicht entdacht geweſen wäre, und ſo groß war der Bedarf an Ziegeln, daß ihr Preis von 16 auf 30 Gulden fürs Tauſend ſtieg.

Noch weit furchtbarer iſt die Gewalt der Orkane in der heißen Zone. Weſtindien wird ſehr häufig von Stürmen heimgeſucht, welche unter dem ſpaniſchen Namen Tornados (Drehſtürme) oder dem engliſchen Hurricanes bekannt ſind. Nach einem Sturme, welcher am 2. Auguſt 1837 einen Theil der weſtindiſchen Inſeln verwüſtete, ſperrten die Trümmer von 36 Schiffen den Hafen von St. Thomas; das Fort am Eingang deſſelben war ſo zerſtört, als ob es durch eine Batterie eingeſchoſſen worden wäre; Vierundzwanzigpfünder waren von den Wällen heruntergeriſſen. In St. Bartholome wurden durch dieſen Sturm 250 Gebäude zerſtört, und von den 33 in Portorico vor Anker liegenden Schiffen konnte keines gerettet werden, obſchon man, durch das bedeutende Sinken des Barometers gewarnt, alle möglichen Vorſichtsmaßregeln getroffen hatte.

Am 10. Auguſt 1831 wurde Barbadoes von einem Sturm getroffen, welcher die Umgebung von Bridgetown in eine Wüſte verwandelte. Bis auf einige Flecken welken Grüns war alle Vegetation vernichtet. Einige wenige Bäume, welche ſtehen geblieben waren, gewährten, ihrer Blätter und Zweige beraubt, einen kalten winterlichen Anblick und die zahlreichen Landſitze in der Nähe von Bridgetown, vorher von dichten Gebüſchen beſchattet, lagen nun frei in Trümmern.

176 **Verminderung des Luftdrucks bei Stürmen.** Der tiefſte Punkt der Witterungsſcala an unſeren gewöhnlichen Zimmerbarometern iſt mit »Sturm« bezeichnet, und in der That ſind die Stürme ſtets von einer bedeutenden Verminderung des Luftdrucks begleitet. Während des erwähnten Sturmes vom 2. Auguſt 1837 ſank zu Portorico das Barometer um 18, zu St. Thomas um 21 Linien. Auf St. Mauritius ſtand das Barometer am 6. März 1836 Morgens 5 Uhr noch auf 337‴ und fiel bis zum 8. März um 8 Uhr bis auf 318‴, während ein furchtbarer Orkan auf der Inſel hauſte.

Am 18. Januar 1818 fiel das ohnehin ſchon tief ſtehende Barometer zu Königsberg um 8 Linien, während ein Sturm von den engliſchen Küſten bis Memel, auf einer Strecke von 240 Meilen Länge und 41 Meilen Breite, ſeine verwüſtende Kraft äußerte.

Am Weihnachtsabend des Jahres 1821 ſank während eines heftigen Sturmes das Barometer zu Breſt um 22, zu London um 22, zu Harlem und Paris um 18, zu Straßburg um 16, zu Berlin und Genf um 13 Linien unter den mittleren Stand.

Scoresby empfiehlt den Seeleuten dringend den Gebrauch des Barometers. Durch ein Fallen ſeines Schiffsbarometers um 9,3 Linien aufmerkſam gemacht, entrann er am 5. April 1819 in der Baffinsbai den Gefahren eines zwei Tage lang wüthenden Sturmes.

Jedenfalls ſind die Stürme ſtets die Folge einer bedeutenden Störung im Gleichgewicht der Atmoſphäre, und höchſt wahrſcheinlich rührt dieſe Störung von einer raſchen Condenſation der Waſſerdämpfe her. Durch eine ſolche Condenſation wird aber nicht bloß unmittelbar eine Luftverdünnung erzeugt, ſondern auch, weil bei Rückkehr der Dämpfe aus dem gasförmigen in den tropfbar flüſſigen Zuſtand ſtets viel Wärme frei wird, ein mächtig aufſteigender Luftſtrom, in Folge deſſen dann von allen Seiten die Luft mit Gewalt nach den Orten der Verdünnung hinſtrömt, während das Minimum des Luftdruckes ſelbſt eine fortſchreitende Bewegung hat.

Dies iſt die Erklärung, welche Brandes von der Entſtehung der Stürme gegeben hat. Dove hat aber nachgewieſen, daß dieſe Theorie einer weſentlichen Modificirung bedarf, wenn ſie mit der Erfahrung in Uebereinſtimmung gebracht werden ſoll; er hat gezeigt, daß die Windrichtung, wie man ſie zu Anfang und zu Ende des Sturmes beobachtet, nicht mit der Annahme eines einfachen, geradlinigen Hinſtrömens der Luft nach dem Orte der größten Luftverdünnung harmonirt, daß vielmehr die Luft um das im Raum fortſchreitende barometriſche Minimum rotirt, kurz, daß die Stürme Wirbel im großartigſten Maßſtabe ſind.

Während des Sturmes vom 24. auf den 25. December 1821 ſchritt das Minimum des Luftdrucks von Breſt bis zum Cap Lindenäs (an der Südſpitze von Norwegen), alſo in der Richtung des Pfeils AC, Fig. 236, vor. Nach der früheren Theorie hätte alſo in London zu Anfang des Sturmes ein Nordoſt, zu Ende deſſelben ein Südweſt wehen müſſen, während in der That zu London die Windfahne anfangs Südoſt zeigte und dann raſch in Nordweſt umſchlug.

Nach Dove's Sturmtheorie ſchreiten in der nördlichen gemäßigten Zone bei Stürmen die barometriſchen Minima, alſo die Mittelpunkte der Wirbelbewegung in der Richtung von Südweſt nach Nordoſt vorwärts, wobei die Rotationsrichtung die in der Figur angedeutete iſt, nämlich entgegengeſetzt dem Laufe des Zeigers einer Uhr. — Nach dieſer Theorie mußte in der That London Südoſtwind haben, als die Luft um den Punkt *A* wirbelte, dagegen mußte in London Nordweſt wehen, nachdem *B* und ſpäter *C* der Mittelpunkt der Wirbelbewegung geworden war.

Südöſtlich von dem Wege, auf welchem die Mittelpunkte der Wirbel fortſchreiten, muß nach Dove's Theorie, wie man aus der Betrachtung des Punk-

Fig. 236.

tes *o*, Fig. 236, erſieht, der Wind zu Anfang des Sturms mit SSO einſetzen und dann durch S, SW, W nach WNW umſchlagen, wie es zu Harlem wirklich ſtattfand. In Orten, welche von dem Mittelpunkte des Sturms entfernter liegen, wie *r* oder *s*, muß der Wind nach der Theorie zu Anfang des Sturms S

oder SSW, zu Ende deſſelben WSW ſein, und in der That drehte ſich zu Karlsruhe während des Sturms die Windfahne von S nach SW.

Auf der Nordweſtſeite des Sturmes ſchlägt der Wind von OSO durch O, NO, N nach NNW um.

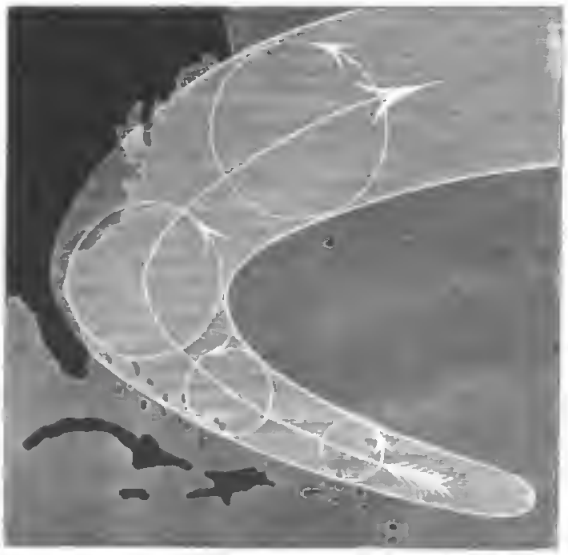
Für die Seefahrer ergeben ſich daraus folgende praktiſche Regeln, um in der nördlichen gemäßigten Zone ſo viel als möglich dem Bereich eines ſie treffenden Wirbelſturmes zu entgehen: Wenn bei ſtark fallendem Barometer der Wind als Südoſt einſetzt und ſich durch Süd nach Weſt hindreht, ſo muß das Schiff nach Südoſt hinſteuern; ſetzt hingegen der Wind in öſtlicher Richtung ein, um nach Nord hin umzuſchlagen, ſo muß das Schiff nach Nordweſten ſteuern (Dove in Poggend. Annal. LII.).

Redfield in New-York iſt durch ſorgfältige Unterſuchung der Erſcheinungen, welche die an den Küſten der Vereinigten Staaten häufigen Stürme begleiten, ganz zu denſelben Reſultaten gelangt, welche Dove für Europa erhalten hatte.

177 **Richtung der Stürme in der heissen Zone.** Ueber die tropiſchen Stürme hat Reid, Gouverneur der Bermudas-Inſeln, ein reiches Material in einem Werke niedergelegt, welches im Jahre 1838 zu London unter dem Titel: »An attempt to develop the law of storms« u. ſ. w. erſchien. Aus Reid's Unterſuchungen ergiebt ſich, daß auch die Stürme der tropiſchen Zone Wirbel ſind.

Die Richtung, in welcher die Wirbel rotiren, iſt für die nördliche Hälfte der heißen Zone dieſelbe, wie die im vorigen Paragraphen betrachtete; dagegen ſchreiten die weſtindiſchen Hurrikans in der Richtung von Südoſt nach Nordweſt vor, ſo lange ſie in der tropiſchen Zone bleiben; ſobald ſie aber in die gemäßigte Zone gelangen, biegen ſie faſt rechtwinklig um und gehen nun von Südweſt nach Nordoſt, wie man dies auf dem Kärtchen Fig. 237 ſieht, welches den Verlauf des Sturmes darſtellt, welcher in der Mitte Auguſt 1837 die öſtlichſten der weſtindiſchen Inſeln traf.

Fig. 237.



Von den zahlreichen Beiſpielen, welche Reid für dieſes Verhalten der weſtindiſchen Stürme beibringt, wollen wir nur noch eines anführen. Der dicht bei den kleinen Antillen vor-

beiſtreifende Sturm vom Auguſt 1830 traf St. Thomas am 12., war am 13. in der Nähe der Turks-Inſeln, am 14. bei den Bahamas, am 15. an den Küſten von Florida, am 16. längs der Küſte von Georgien und Carolina, am 17. an denen von Virginien, Maryland und New-York, am 18. auf der Georgsbank und Cap Sable, am 19. auf der New-Foundlandsbank. Das Fortrücken dieſes Sturmes betrug alſo im Durchſchnitt 13½ deutſche Meile in der Stunde. Die Geſchwindigkeit, mit welcher der Sturm überhaupt fortſchreitet, iſt übrigens wohl zu unterſcheiden von der ungleich größeren Geſchwindigkeit, mit welcher die Luft in den Wirbeln fortgeriſſen wird.

Auf der ſüdlichen Hemiſphäre iſt die Richtung der Sturmwirbel die entgegengeſetzte von der bisher betrachteten. Innerhalb der tropiſchen Zone geht das Minimum des Luftdrucks in der Richtung von Nordoſt nach Südweſt voran, biegt aber beim Uebergang in die ſüdliche gemäßigte Zone in die nordweſtliche Richtung um, wie das Kärtchen Fig. 238 zeigt, welches den Verlauf eines Sturmes darſtellt, welcher im März 1809 die Inſel St. Mauritius traf.

Fig. 238.

Die unter dem Namen der Typſoons in den chineſiſchen Meeren bekannten Stürme ſchreiten von O nach W oder von OSO nach WNW fort, während die Rotationsrichtung der Wirbel dieſelbe iſt wie auf dem nördlichen atlantiſchen Ocean.

Tromben und Waſſerhoſen. Wir haben bisher nur Wirbelwinde 178
im großartigſten Maßſtabe betrachtet; ganz ähnliche Erſcheinungen finden aber auch im kleinſten Maßſtabe Statt. Oft ſieht man an heißen Sommertagen bei ſonſt ruhigem Wetter, daß Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern ſieht man ſchon größere Luftwirbel der Art, welche außer Staub und Sand noch Blätter, Stroh, kleine Baumzweige u. ſ. w. mit in die Höhe nehmen. Wirbelwinde von größeren Dimenſionen und größerer mechaniſcher Gewalt werden Wetterſäulen oder Tromben genannt. Wahrſcheinlich werden ſie durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengeſetzter Richtung wehenden Winde erzeugt. Wenn ſolche Wirbel über Land hinwegziehen, ſo bilden ſie aus dem aufgewühlten Sand einen oben an Breite abnehmenden Kegel, welcher den Weg des Wirbels von weitem ſichtbar macht; zieht aber das Meteor über das Meer,

über Seen oder Flüsse hin, so wird in gleicher Weise das Wasser in wirbelnder Bewegung mit in die Höhe gerissen, und so entstehen die Wassertromben oder Wasserhosen.

Solche Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern. Mohr giebt im 36. Bande von Poggendorff's Annalen eine sehr instructive Beschreibung einer am 1. Mai 1835 zu Koblenz beobachteten Trombe, welcher wir Folgendes entnehmen.

Um halb drei Uhr bildete sich am Fuße des Alexander-Forts, im Felde von Neuendorf, ein Wirbelwind, der rasch zu einer fürchterlichen Stärke heranwuchs, Sand und Staub aufwühlte und mit sich fortführte. Er nahm seine Richtung von Nordwest nach Südost, gerade auf die Landspitze zu, welche das linke Rhein- und das linke Moselufer mit einander bilden. Eine Frau, welche mit einem Korbe auf dem Kopfe aus dem Felde kam, wurde durch die Trombe zu Boden geworfen und der Korb hoch durch die Luft auf die andere Rheinseite fortgeführt. Die Staubwolke, welche wirbelnd über die Erde fortzog, war grau von Farbe und undurchsichtig. Sie hatte eine schräge Lage nach der Strömung des Windes, in den höheren Regionen mit dem oberen und breiteren Theile nach vorn, den unteren schmäleren gleichsam nach sich ziehend. Sie hatte die scheinbare Form eines Trichters, dessen Spitze nach unten gekehrt einen Durchmesser von 30 bis 40 Fuß hatte, dessen oberer Durchmesser aber 3- bis 4mal so groß war. An Höhe hatte sie bald alle nahe gelegenen Häuser weit überstiegen.

Die Bewegung dieser Trombe war von einem fürchterlichen Sausen begleitet. Der erste höhere Gegenstand, welchen sie traf, war eine Saffianfabrik. Unter fürchterlichem Gepraffel wurde das Dach des hinteren Gebäudes losgerissen und über das Hauptgebäude hinweg etwa 40 Schritte weit ins Feld geschleudert. Fenster wurden zertrümmert, Laden und Fensterflügel herausgerissen und Alles weit umhergestreut. Die auf dem Speicher aufgehangenen Häute wurden von der Trombe fortgerissen, so daß man sie wie schwarze Vögel hoch in den Lüften dahinfliegen sah.

Von da bewegte sich die Trombe rasch gegen die etwa noch 100 Schritte entfernte Mosel hin, wo sich das ganze Schauspiel veränderte. Die Erdtrombe wurde nämlich eine Wasserhose; sie wühlte das Wasser in so wildem Brausen auf, daß es auf der ganzen Basis schäumend auf eine bedeutende Höhe wirbelnd hinaufgezogen wurde, während außerhalb des Wirkungskreises der Wasserspiegel weder gestört noch getrübt wurde. Der Durchmesser des Trichters nahm über die Hälfte des Flußbettes ein. Auf der Landspitze angekommen, welche das rechte Mosel- mit dem linken Rheinufer bildet, an der Ecke des ehemaligen deutschen Hauses, schien das Meteor einige Augenblicke stille zu stehen, setzte aber alsbald seinen Weg in gerader Richtung über den Rhein gegen Ehrenbreitstein hin fort.

Auf der rechten Rheinseite angekommen, warf es das Wasser 8 bis 10 Fuß hoch auf das Land, nahm ein 60 Ellen langes Stück Leinen von der

Bleiche hoch in die Luft, ſo daß man es wie eine Bandſchleife umherflattern ſah. Sieben Bäume von 6 bis 8 Zoll Durchmeſſer wurden abgebrochen, Aeſte von 4 bis 6 Zoll Dicke abgeriſſen und umhergeſchleudert, womit dann das Meteor ſo ziemlich ſein Ende erreichte.

Wenige Minuten nach dem Aufhören deſſelben fiel ein heftiger Platzregen mit ſtarkem Hagel.

Fig. 239 ſtellt eine Waſſerhoſe dar, welche G. van Rath am 10. Juni 1858 oberhalb Königswinter beobachtete (Poggend. Ann. CIV, 631). Die

Fig. 239.

Wetterſäule bildete ſich zuerſt bei dem Dorfe Honnef als Landtrombe, ungeheure Staubmaſſen aufwühlend; aus den feineren Staubtheilchen bildete ſich eine als dunkler Streif erſcheinende Säule, deren Höhe Rath auf 2000 Fuß ſchätzte. Als die Trombe in ihrer fortſchreitenden Geſchwindigkeit den Spiegel des Rheins erreichte, erhob ſich das Waſſer im Umfang eines Kreiſes, deſſen Durchmeſſer 50 Schritte betragen mochte, und bildete eine Schaumſäule, deren Anblick an einen gothiſchen Thurm erinnerte. Ein mittlerer Strahl ſprang hoch über mehrere ſeitliche hervor, aus der Wolkenmaſſe aber ſenkte ſich eine helle Wolkenſpitze

herab, welcher ſich nach einiger Zeit mit der Spitze der Waſſerſäule vereinigte, worauf dann der den Waſſerſpiegel mit den Wolken verbindende Streif ſeiner ganzen Länge nach in gleicher Breite erſchien.

Zwiſchen Rolandseck und Mehlem erreichte die Trombe das linke Rheinufer, um alsbald wieder auf den Rhein zurückzukehren. Das Phänomen endete, nachdem es ungefähr 35 Minuten gedauert hatte, bei Rhöndorf auf dem rechten Rheinufer.

Von den Häuſern, welche die Wetterſäule traf, wurden die Ziegel heruntergeworfen, ſtarke Aeſte wurden von den Bäumen geriſſen und die Saaten niedergelegt. Die Breite der ſo bezeichneten Bahn betrug im Durchſchnitt 50 Schritt.

Am 8. April 1833 wurde die Gegend von Calcutta von einem Wirbelwinde heimgeſucht, welcher in Beziehung auf ſeine Größe zwiſchen den eigentlichen Stürmen und den Tromben in der Mitte ſteht. Bei einem Durchmeſſer von 1200 bis 2500 Fuß ging dieſer Wirbel 3 engliſche Meilen öſtlich von Calcutta vorüber und legte in einem Zeitraume von 4 Stunden einen Weg von 16 engliſchen Meilen zurück. Er warf über 1200 Fiſcherhäuſer um und tödtete 215 Menſchen.

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft. Wenn man an 179
einem heißen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen; es verdunstet, das heißt: es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke nicht wahrnehmbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu sein.

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfs in der Luft überzeugen will, muß man ihn auf irgend eine Weise verdichten.

Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfs, wenn man die Luft durch ein mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regelmäßiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes mit Wasser gefülltes Gefäß; aus der einen Oeffnung fließt durch ein Rohr beständig Wasser ab, die andere Oeffnung ist mit dem Absorptionsrohre in Verbindung, so daß hier ein dem ausfließenden Wasser gleiches Volum getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasserdampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

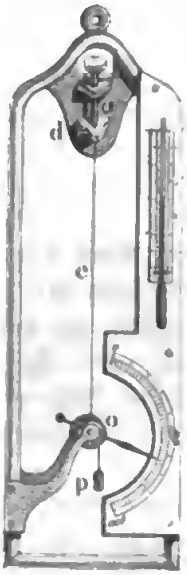
Die Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspirator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmäßige Formen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern den mittleren Wassergehalt während der ganzen Dauer des Versuches; man hat deshalb kleinere, leichter

transportable Apparate construirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, daß viele organische Körper die Eigenschaft haben, Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnißmäßig zu verlängern. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche hygroskopische Körper, und man benutzte sie deshalb zur Construction von Hygrometern. Das beste Instrument der Art ist das von Sauſſure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 240 abgebildet ist.

Das Haar *c* ist mit seinem oberen Ende im Zängelchen *a* befestigt, das andere Ende desselben aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der zweiten Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geschlungen ist, der ein kleines Gewicht *p* trägt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher auf einem Gradbogen hin und her geht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Fig. 240.



Die Schraube am oberen Theile des Apparates dient, um die Spannung des Haares zu reguliren.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instruments wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der größten Trockenheit; er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der größten Feuchtigkeit; er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Das auf diese Weise graduirte Hygrometer giebt zwar die äußerste Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft an, es zeigt, ob sich die Luft dem Sättigungspunkte mehr oder weniger nähert, man kann aber aus den Hygrometergraden keinen directen Schluß auf die Menge des Wasserdampfes in der Atmosphäre machen. Wie groß die jedem Hygrometergrade entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft ist, kann nur auf empirischem Wege ermittelt werden.

Gay-Luſſac verfuhr folgendermaßen: Er beſtimmte zunächſt das Maximum der Spannkraft des Waſſerdampfes, welcher ſich bei einer Temperatur von 10° über verſchiedenen Salzlöſungen bilden kann. Alsdann brachte er ſein Inſtrument bei derſelben Temperatur der Reihe nach mit dieſen Flüſſigkeiten unter die Glocke und notirte jedesmal die Grade, bei welchen ſich das Inſtrument einſtellte. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate dieſer Verſuche.

Namen der Flüſſigkeit.	Specifiſches Gewicht bei 10° C.	Spannkraft des Dampfes, wenn man die Spannkraft des Waſſerdampfes bei 10° mit 100 bezeichnet.	Grade des Haarhygrometers, bei welchen ſich der Zeiger für die verſchiedenen Flüſſigkeiten einſtellte.
Waſſer	1,000	100,0	100,0
Löſung von ſalzſaurem Natron	1,096	90,6	97,7
desgl.	1,163	82,3	92,2
desgl.	1,205	75,9	87,4
Löſung von ſalzſaurem Kalk .	1,275	66,0	82,0
desgl.	1,343	50,5	71,0
desgl.	1,397	37,6	61,3
Schwefelſäure	1,493	18,1	33,1
desgl.	1,541	12,2	25,3
desgl.	1,702	2,4	6,1
desgl.	1,848	0	0

Er fand alſo z. B., daß bei 10° die Waſſerdämpfe über einer Auflöſung von Chlorcalcium, deren ſpecifiſches Gewicht 1,275 iſt, 66 Proc. von der Spannkraft der Waſſerdämpfe beſitzen, welche bei derſelben Temperatur über reinem Waſſer ſich bilden; wenn aber das Hygrometer unter eine Glocke gebracht wird, deren Wände mit dieſer Löſung befeuchtet ſind, ſo ſtellt es ſich auf 82 Grad; man kann daraus den Schluß ziehen, daß der Theilſtrich 82 des Hygrometers einen Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt, welcher 66 Procent des zur Sättigung nöthigen beträgt. Nach dieſen Beobachtungen hat Gay-Luſſac durch Interpolation eine Tabelle berechnet, welche den jedem einzelnen Hygrometergrade entſprechenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft angiebt. Wir geben umſtehend dieſe Tabelle nur von 10 zu 10 Grad.

Hygrometergrade.	Entſprechende Feuchtigkeit der Luft.	Hygrometergrade.	Entſprechende Feuchtigkeit der Luft.
0	0	60	36,28
10	4,57	70	47,19
20	9,45	80	61,22
30	14,78	90	79,09
40	20,78	100	100,00
50	27,79		

Wenn alſo das Hygrometer auf 60° ſteht, ſo enthält die Luft 36,28 Procent desjenigen Waſſerdampfes, welchen ſie enthalten müßte, um geſättigt zu ſein.

Dieſe Tabelle iſt jedoch nur für Temperaturen ganz zuläſſig, welche nicht viel von 10° verſchieden ſind.

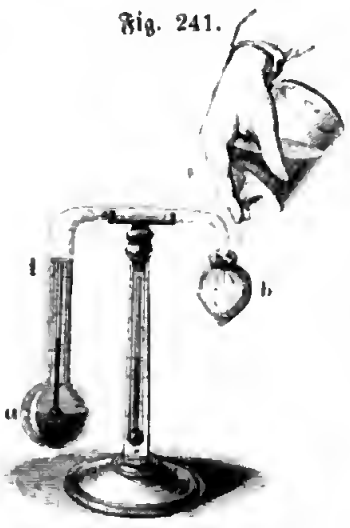
Regnault hat neuerdings auch Unterſuchungen über das Haarhygrometer angeſtellt. Er fand es zweckmäßiger, die Haare mit Aether zu entfetten, ſtatt ſie in einer Sodalöſung zu kochen, wie es Sauſſure angegeben hatte.

Er fand, daß Hygrometer, mit einerlei Art von Haaren conſtruirt, welche auf gleiche Weiſe entfettet wurden, zwar nicht ſtreng übereinſtimmend gehen, daß ſie aber für die meiſten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können; daß dagegen Hygrometer mit Haaren von verſchiedener Natur und verſchiedener Zubereitung ſehr große Unterſchiede in ihren Angaben zeigen können, ſelbſt wenn ſie an den Endpunkten mit einander ſtimmen.

Daraus geht klar hervor, daß man nicht eine für alle Haarhygrometer gültige Tabelle berechnen könne, ſondern daß man eigentlich für jedes Inſtrument der Art Verſuche in obiger Weiſe anſtellen und aus dieſen eine Tabelle berechnen müſſe.

180 **Daniel's Hygrometer** iſt Fig. 241 dargeſtellt; es beſteht aus einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, iſt entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinſchicht überzogen, die andere iſt mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* iſt zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, deſſen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat iſt vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, ſo wird ſie durch die Verdampfung deſſelben erkaltet, in ihrem Inneren werden Aetherdämpfe condenſirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewiſſermaßen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* über-

Fig. 241.



deſtillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und ſie beſchlägt ſich endlich mit einem zarten Thau.

Die Entſtehung dieſes Thaues läßt ſich leicht erklären. Die Phyſik lehrt, daß im leeren Raume die Spannkraft des Waſſerdampfes für eine beſtimmte Temperatur eine gewiſſe Gränze nicht überſteigen kann, daß aber das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur ſteigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. iſt das Maximum der Spannkraft des Waſſerdampfes 17,4 Millimeter (Lehrb. d. Phyſik, 5. Aufl. Bd. II. S. 559), und die entſprechende Dichtigkeit des Waſſerdampfes 0,00001731; in einem luftleeren Raume von 1 Cubikmeter können alſo bei einer Temperatur von 20° höchſtens 17,31 Gramm Waſſer in Form von Dampf enthalten ſein.

Wir wiſſen aber ferner, daß in einem lufterfüllten Raume gerade ebenſoviel Waſſerdampf enthalten ſein kann als in einem gleich großen luftleeren Raume, und daß ſich in dieſem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Waſſerdampfes ſummiren. Bei einer Temperatur von 20° können alſo in einem Cubikmeter Luft ebenfalls 17,31 Gramm Waſſer als Dampf enthalten ſein.

Man ſagt, die Luft ſei mit Waſſerdampf *geſättigt*, wenn der in ihr verbreitete Waſſerdampf das ihrer Temperatur entſprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit geſättigte Luft einen kälteren Körper, ſo wird dieſer die nächſten Luftſchichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Waſſerdampfes wird ſich verdichten müſſen und ſetzt ſich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf dieſe Weiſe bildet ſich der Beſchlag an den Fenſterſcheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äußeren Luft niedrig genug iſt, um die Fenſterſcheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer iſt die Luft mit Feuchtigkeit geſättigt, d. h. es iſt nicht immer in derſelben gerade ſoviel Waſſerdampf enthalten, als ſie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° C. nur 13,63 Gramm Waſſerdampf, ſo iſt ſie nicht geſättigt; denn bei dieſer Temperatur könnte ja jedes Cubikmeter Luft 17,31 Gramm Waſſerdampf enthalten. Aus der angeführten Tabelle (Lehrb. d. Phyſik, Bd. II. S. 559) erſieht man aber, daß die Dichtigkeit des geſättigten Waſſerdampfes bei 16° gleich 0,00001363 iſt; für eine Temperatur von 16° wäre alſo die Luft geſättigt. Man müßte alſo die Luft bis unter 16° erkalten, wenn eine Verdichtung von Waſſerdampf ſtattfinden ſollte.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Waſſerdampfes beginnt, die Temperatur alſo, für welche die Luft gerade mit Waſſerdampf geſättigt iſt, heißt der *Thaupunkt*.

Der Thaupunkt iſt es nun, welchen man am *Daniel*'ſchen Hygrometer beobachtet; ſobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet iſt, fängt dieſe Kugel an ſich zu beſchlagen; die Temperatur des Thau-

punktes lieſt man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Die folgende Tabelle giebt den Waſſergehalt der mit Dampf geſättigten Luft für den Thaupunkt von — 20° bis + 40° Celſius an.

Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Cubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Cubikmeter Luft.
	mm	gr		mm	gr
— 20°	1,3	1,5	19°	16,3	16,2
— 15	1,9	2,1	20	17,4	17,3
— 10	2,6	2,9	21	18,3	18,1
— 5	3,7	4,0	22	19,4	19,1
0	5,0	5,4	23	20,6	20,2
1	5,4	5,7	24	21,8	21,3
2	5,7	6,1	25	23,1	22,5
3	6,1	6,5	26	24,4	23,8
4	6,5	6,9	27	25,9	25,1
5	6,9	7,3	28	27,4	26,4
6	7,4	7,7	29	29,0	27,9
7	7,9	8,2	30	30,6	29,4
8	8,4	8,7	31	32,4	31,0
9	8,9	9,2	32	34,3	32,6
10	9,5	9,7	33	36,2	34,3
11	10,1	10,3	34	38,3	36,2
12	10,7	10,9	35	40,4	38,1
13	11,4	11,6	36	42,7	40,2
14	12,1	12,2	37	45,0	42,2
15	12,8	13,0	38	47,6	44,4
16	13,6	13,7	39	50,1	46,7
17	14,5	14,5	40	53,0	49,2
18	15,4	15,3			

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12° C. angiebt, ſo erſehen wir aus dieſer Tabelle, daß jedes Cubikmeter Luft 10,7 Gramm Waſſerdampf enthält; wäre der Thaupunkt 17° C., ſo enthielte jedes Cubikmeter Luft 14,5 Gramm Waſſerdampf u. ſ. w.

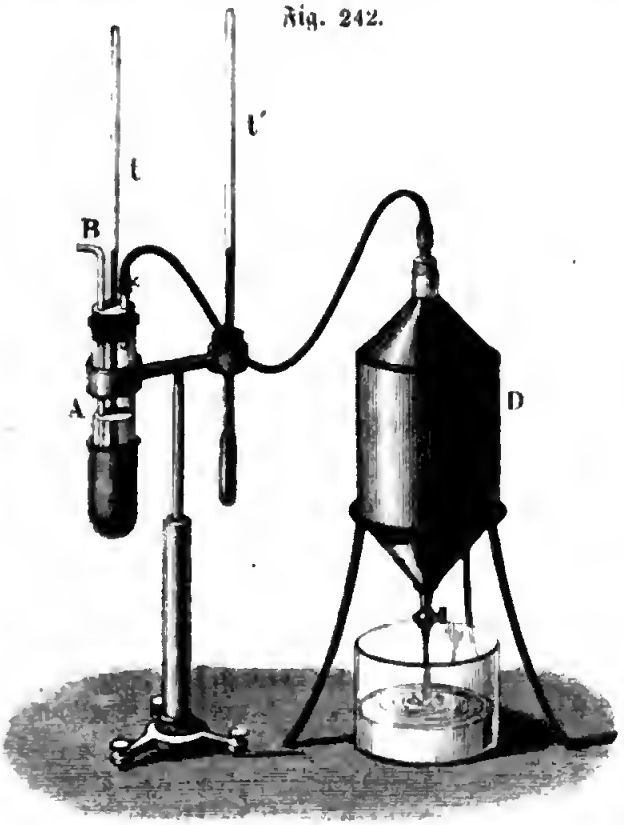
Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniel'ſchen Hygrometers laſſen ſich mit Recht folgende Einwendungen machen. Der Aether in der Ku-

gel *a* ist an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen; die Handhabung des Apparates erfordert eine längere Anwesenheit des Beobachters in der Nähe desselben, wodurch sowohl die Temperatur als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welcher auf der Kugel *b* verdampft, äußert ebenfalls einen Einfluß auf den hygrometrischen Zustand der Luft, welcher noch dadurch verschlimmert wird, daß der käufliche Aether nie ganz wasserfrei ist.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerksam gemacht, mit dem Daniel'schen Hygrometer genaue Resultate zu erhalten; er construirte ein anderes, auf demselben Prineipe beruhendes Instrument, welches jedoch nicht so beachtet worden zu sein scheint, wie es verdient.

Vor Kurzem hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Vervollkommnung des eben erwähnten Döbereiner'schen angesehen werden kann. Am unteren Ende der Glasröhre *A*, Fig. 242, ist ein fingerhutartiges

Fig. 242.



Gefäß von dünnem polirtem Silberblech befestigt, welches ungefähr 20mm Durchmesser hat und 45mm hoch ist. Oben ist die Glasröhre *A* mit einem Kork verschlossen, welcher drei Löcher hat. Durch das eine derselben geht die Röhre *B* hindurch, welche fast bis auf den Boden des Silbergefäßes reicht; durch die zweite Oeffnung geht die Röhre eines Thermometers, dessen Gefäß sich ungefähr in der Mitte des Silbergefäßes befindet. Ein kurzes Glasröhrchen,

welches nur eben bis unter den Kork reicht, steckt in der dritten Oeffnung. Von diesem Röhrchen führt ein Gummischlauch zu dem mit Wasser gefüllten Aspirator *D*.

Das silberne Gefäß und die Glasröhre *A* sind ungefähr so weit mit Aether gefüllt, wie die Figur zeigt. Wird nun der Hahn des Aspirators geöffnet, so fließt hier das Wasser aus, in gleichem Maße aber muß Luft durch das Rohr *B* einströmen, welche durch den Aether in *A* in Form von Bläschen aufsteigt, und dadurch eine rasche Verdunstung desselben bewirkt, in Folge deren das Silbergefäß von außen beschlägt.

Die Temperatur des Thaupunktes wird am Thermometer *t*, die der umgebenden Luft am Thermometer *t'* abgelesen.

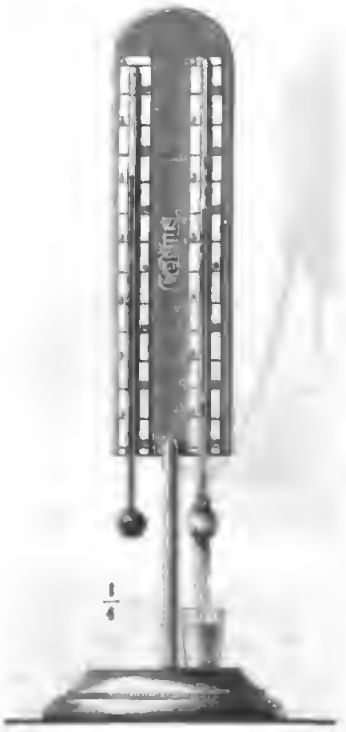
Der Beobachter steht am Aspirator *D* und beobachtet das Silbergefäß und die Thermometer durch ein Fernrohr.

Wenn das Silbergefäß die Temperatur des Thaupunktes erreicht hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses hin, um den Beschlag verschwinden zu machen, während eine Beschleunigung des Ausflusses ihn vermehrt.

Das Döbereiner'sche Instrument unterscheidet sich von dem Regnault'schen im Wesentlichen nur dadurch, daß bei ersterem die Luft mittelst einer Druckpumpe durch den Aether des Silbergefäßes hindurch getrieben wird.

181 **August's Psychrometer** ist Fig. 243 dargestellt; es besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, welches in ein untergestelltes Gefäß mit Wasser herabhängt, so daß die Hülle dieser Thermometerkugel stets befeuchtet ist; das Wasser in dieser Hülle verdunstet, und zwar um so rascher, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das umwickelte Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schließen.

Fig. 243.



Wenn ein hinreichend starker Luftzug stattfindet, so wird sich die an der nassen Thermometerkugel vorbeistreichende Luft mit Wasserdampf sättigen,

ſie wird aber einen Theil ihrer Wärme zur Dampfbildung abgeben; das naſſe Thermometer zeigt die Temperatur an, bis zu welcher die Luft an dieſer Kugel erkaltet und für welche ſie ſich mit Waſſerdampf ſättigt. Nehmen wir an, das naſſe Thermometer zeige 16 Grad, ſo ſehen wir daraus, daß die Luft, welche an der umwickelten Kugel vorbeiſtreicht, auf 16° erkaltet wird, und daß ſie dieſelbe für dieſe Temperatur geſättigt verläßt. Wäre die ganze Luftmaſſe für die Temperatur von 16° mit Waſſerdampf geſättigt, ſo würde jedes Cubikmeter Luft 13,7 Gramm Waſſerdampf enthalten; ſo viel Waſſerdampf enthält ſie aber in der That nicht, denn ſie nimmt ja an der naſſen Kugel, bis zu 16° erkaltet, noch Waſſerdampf auf; der Feuchtigkeitszuſtand der Atmoſphäre iſt alſo von der Art, daß jedes Cubikmeter Luft weniger als 13,7 Gramm Waſſerdampf enthält.

Die Menge des Waſſerdampfes, welche die Luft aufnimmt, indem ſie an der naſſen Kugel vorbeiſtreicht, hängt von der Wärmequantität ab, welche ſie zur Dampfbildung abgiebt; dieſe Wärmequantität iſt aber um ſo bedeutender, je ſtärker ſie erkaltet wird, ſie iſt der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer proportional, und auch die Menge des Waſſerdampfes, welchen die Luft aufnimmt, wenn ſie am naſſen Thermometer vorbeiſtreicht, können wir ohne merklichen Fehler dieſer Temperaturdifferenz proportional ſetzen. Bezeichnen wir dieſe Temperaturdifferenz mit d, ſo können wir die Quantität des Waſſerdampfes, welchen ein Cubikmeter der nach und nach an der naſſen Kugel vorbeiſtreichenden Luft aufnimmt, mit cd bezeichnen.

Bezeichnen wir ferner mit M das Maximum des Waſſerdampfes, welchen ein Cubikmeter Luft bei der Temperatur des naſſen Thermometers enthalten kann, die Quantität des Waſſerdampfes alſo, welchen die Luft wirklich enthält, welche am naſſen Thermometer vorbeigeſtrichen iſt, ſo beſteht dieſe Quantität M aus zwei Theilen, der Quantität cd nämlich, welche ſie an der Kugel aufgenommen hat, und der Quantität X, welche ſie ſchon enthielt; es iſt alſo:

$$M = X + cd$$

oder:

$$X = M - cd.$$

In dieſer Formel bezeichnet, wie erwähnt, X den Waſſergehalt der Luft, d die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, M den Waſſergehalt der Luft, wenn ſie für die Temperatur des naſſen Thermometers geſättigt wäre, und c einen conſtanten Factor, welcher durch Verſuche ermittelt werden muß.

Durch vergleichende Verſuche mit dem Pſychrometer und dem Daniel'ſchen Hygrometer ergab ſich:

$$c = 0{,}65.$$

Um nicht für jede Beobachtung erſt den Waſſergehalt der Luft berechnen zu müſſen, hat man Tabellen berechnet, in welchen man, wie in der folgenden, für jede Lufttemperatur und jede beobachtete Differenz der beiden Thermometer den Waſſergehalt der Luft gleich aufſuchen kann.

Temperatur der Luft in Graden nach Celsius.	Differenz des trockenen u. befeuchteten Thermometers.												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
— 20	1,5	0,8	0,1										
— 19	1,6	0,9	0,2										
— 18	1,8	1,0	0,3										
— 17	1,9	1,1	0,4										
— 16	2,0	1,2	0,5										
— 15	2,1	1,4	0,6										
— 14	2,3	1,5	0,8										
— 13	2,4	1,6	0,9	0,1									
— 12	2,6	1,8	1,0	0,3									
— 11	2,7	2,0	1,2	0,4									
— 10	2,9	2,1	1,3	0,6									
— 9	3,1	2,3	1,5	0,7									
— 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1								
— 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3								
— 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5								
— 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7								
— 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1							
— 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3							
— 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5							
— 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8							
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2						
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4						
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5						
+ 3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7						
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0						
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3					
+ 6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5					
+ 7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8	0,8					
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	1,1	0,2				
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,5				
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9				
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2			
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6			
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0			
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4		
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8		
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2	
+ 17	14,5	13,1	11,6	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9	1,7	0,7	
+ 18	15,3	13,8	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1	
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6	
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,2	
+ 21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7	
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3	
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,9	2,5
+ 24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5	3,1
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2	3,9
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9	4,6
+ 27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7	5,3
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5	6,1
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3	9,8	8,3	6,8
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1	7,7
+ 31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15,0	13,3	11,6	10,1	8,5
+ 32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16,1	14,3	12,7	11,0	9,4
+ 33	34,4	31,9	29,6	27,3	25,2	23,1	21,1	19,1	17,3	15,4	13,7	12,0	10,4
+ 34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6	14,8	13,1	11,4
+ 35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,8	16,0	14,2	12,5

Man findet in dieſer Tabelle den Waſſergehalt eines Cubikmeters Luft, in Grammen ausgedrückt, für die jedesmalige Lufttemperatur und die gleichzeitig beobachtete Differenz der beiden Thermometer, wenn man in der Horizontalreihe, deren äußerſte Ziffer links die Lufttemperatur angiebt, bis zu der Verticalreihe herübergeht, welche mit der beobachteten Differenz der beiden Thermometer überſchrieben iſt. So findet man z. B. für die Lufttemperatur von 20°, wenn das naſſe Thermometer auf 16° ſteht, wenn alſo die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer 4° iſt, den Waſſergehalt der Luft gleich 11,1, d. h. in dieſem Falle enthält jedes Cubikmeter Luft 11,1 Gramm Waſſerdampf.

Regnault hat durch zahlreiche Verſuche nachgewieſen, daß die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer weſentlich von der Stärke des Luftzuges abhängt, daß das feuchte Thermometer in einem geſchloſſenen Raume nicht ſo tief ſinkt, als wenn es dem Luftzuge ausgeſetzt iſt. Ebenſo fand er, daß bei niedriger Temperatur und ſehr feuchter Luft die aus den Angaben des Pſychrometers berechneten Werthe des Waſſergehaltes bedeutend von den mittelſt des Aſpirators gefundenen abweichen; die in der vorſtehenden Tabelle angegebenen Werthe des Waſſergehaltes der Luft ſind alſo wohl nur bei mittleren und höheren Temperaturen und nicht gar zu feuchter Luft als ziemlich genau zu nehmen.

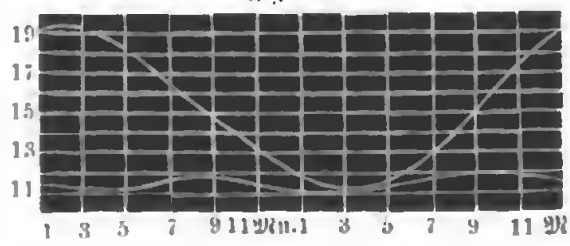
Tägliche Variationen im Waſſergehalte der Luft. Da bei 182
hoher Temperatur mehr Waſſerdampf in der Luft verbreitet ſein kann, da mit ſteigender Wärme das Waſſer an der Oberfläche der Gewäſſer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunſtet, ſo läßt ſich wohl erwarten, daß der Waſſergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird. Die Geſetze der täglichen Variationen des Waſſergehaltes der Atmoſphäre ſind beſonders durch lange Verſuchsreihen von Neuber in Apenrade, von Kupffer in Petersburg und von Kämtz in Halle und auf den Alpen ermittelt worden.

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Spannkraft für die einzelnen Tagesſtunden in den Monaten Januar, April, Juli und October an.

Stunden.	Januar.	April.	Juli.	October.
Mittag	4,29	6,15	11,62	8,27
1	4,32	6,05	11,42	8,29
2	4,34	6,08	11,32	8,23
3	4,33	6,09	11,22	8,15
4	4,28	6,09	11,18	8,10
5	4,25	6,09	11,25	8,06
6	4,24	6,12	11,36	8,10
7	4,22	6,15	11,68	8,07
8	4,20	6,13	11,76	7,96
9	4,18	6,10	11,75	7,88
10	4,15	6,05	11,67	7,80
11	4,14	6,03	11,52	7,72
Mitternacht	4,11	6,02	11,33	7,66
1	4,09	5,99	11,15	7,59
2	4,09	5,93	11,05	7,52
3	4,08	5,88	11,07	7,43
4	4,08	5,84	11,21	7,36
5	4,07	5,87	11,44	7,34
6	4,06	5,96	11,68	7,44
7	4,06	6,08	11,96	7,49
8	4,05	6,25	12,11	7,75
9	4,07	6,34	12,05	8,06
10	4,12	6,35	11,89	8,23
11	4,21	6,28	11,72	8,28
Mittel	4,17	6,08	11,52	7,87

Nach dieſer Tabelle ſind die Variationen des Waſſergehaltes der Luft während eines Tages für den Monat Juli in Fig. 244 graphiſch, und zwar in der unteren Curve, dargeſtellt. Die Abſciſſen ſind der Zeit, die Ordinaten der Spannkraft des Waſſerdampfes proportional aufgetragen. Man ſieht, daß der Waſſergehalt der Luft zwei Maxima, gegen 9 Uhr Abends und gegen 9 Uhr

Fig. 244.



Morgens, und zwei Minima, um 4 Uhr Nachmittags und kurz vor Sonnenaufgang, hat.

Wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur steigt, vermehrt sich auch die Menge des Wasserdampfes in der Luft, jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlaßter aufwärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so daß der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert; diese Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; von hier an nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil jetzt die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufgangs.

Die obere Curve der vorigen Figur zeigt uns das Maximum der Spannkraft, welches der Wasserdampf bei der, jeder Tagesstunde des Monats Juli entsprechenden mittleren Temperatur erreichen könnte. Da die beiden Curven für die Zeit des Sonnenaufgangs sich einander sehr nähern, so ist also um diese Zeit die Luft sehr nahe mit Feuchtigkeit gesättigt. Mit steigender Temperatur nimmt nun zwar anfangs die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft zu, doch nicht im Verhältniß der Temperaturzunahme, der Wassergehalt der Luft entfernt sich also immer mehr von dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungspunkte oder auch, mit anderen Worten, die Differenz zwischen der Temperatur der Luft und dem Thaupunkte wird immer größer.

Wir sagen »die Luft ist trocken«, wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir »die Luft ist feucht«, wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heißen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sei sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten (siehe die Tabelle Seite 438), oder die Luft müßte bis auf 15° C. erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu sein. Wenn sie dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° C. nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende Temperatur beinahe

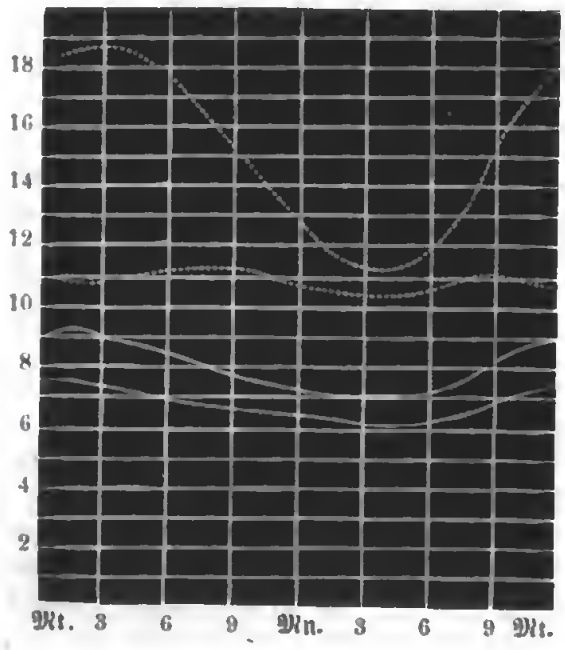
vollſtändig mit Waſſerdampf geſättigt iſt und die geringſte Temperaturerniedrigung ſchon einen Niederſchlag zur Folge hat.

In dieſem Sinne können wir alſo ſagen, daß zur Zeit des Sonnenaufganges die Luft am feuchteſten iſt, obgleich der abſolute Waſſergehalt geringer iſt als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen 3 Uhr Nachmittags iſt im Sommer die Luft am trockenſten.

Die Zeit der beiden Maxima und der beiden Minima des Waſſergehaltes der Luft fällt nahe mit den Wendeſtunden der täglichen Periode des Barometers zuſammen, ſo daß man offenbar ſieht, wie dieſe Perioden durch die Variationen des Waſſergehaltes der Luft bedingt ſind.

Auf hohen Bergen befolgen die Veränderungen im Dampfgehalte der Luft ein anderes Geſetz, weil der aufſteigende Luftſtrom die Waſſerdämpfe aus der Tiefe in die Höhe führt. Die unterſte der beiden ausgezogenen Curven Fig. 245 ſtellt nach den Beobachtungen von Kämtz die Veränderungen dar, welche die Spannkraft des atmoſphäriſchen Waſſerdampfes im Laufe eines Tages auf dem Rigi erleidet, während die untere der beiden punktirten Curven die entſprechenden gleichzeitigen Veränderungen für Zürich darſtellt. Zuerſt ſieht man bei der Betrachtung dieſer Curven, daß in Zürich der Waſſergehalt der Luft während 24 Stunden 2 Maxima und 2 Minima hat, während in der Höhe, wie bei den täglichen Variationen des Barometerſtandes, nur 1 Maximum und nur 1 Minimum ſtattfindet; auch in der Höhe nimmt der Waſſergehalt der Luft von Sonnenaufgang an zu, dieſe Zunahme dauert aber bis Mittag, während in der Tiefe der Waſſergehalt von 9 Uhr an ſchon wieder abnimmt, weil der aufſteigende Luftſtrom, welcher die Abnahme des Waſſergehaltes in der Tiefe veranlaßt, die dort weggeführten Dämpfe in die Höhe bringt. Von 3 Uhr Nachmittags an, wenn die Stärke des aufſteigenden Luftſtroms nachläßt, nimmt der Waſſergehalt in der Tiefe wieder zu, in der Höhe nimmt er aber fortwährend ab, weil bei ſtets abnehmender Temperatur kein Waſſerdampf mehr in die Höhe gebracht wird, ſondern umgekehrt die Waſſerdämpfe ſich in die Tiefe ſenken. Die obere der beiden punktirten und die

Fig. 245.



obere der beiden ausgezogenen Curven geben an, wie groß zu jeder Stunde die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt sein würde, wenn die Luft stets vollkommen gesättigt wäre. In der Höhe ist dieser Beobachtungsreihe zufolge die Luft viel feuchter, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte viel näher als in der Tiefe; denn die beiden Curven sind für den Rigi fast parallel und nicht weit von einander entfernt, während die beiden auf Zürich sich beziehenden Curven einen sehr ungleichen Lauf haben und für die Stunden vor und nach Mittag sehr weit von einander abstehen.

Man kann deshalb aber nicht allgemein den Satz aufstellen, daß die Luft in der Höhe feuchter sei, denn andere Beobachtungen ergeben das Gegentheil; so fanden z. B. Sauſſure auf den Alpen und Humboldt auf den südamerikanischen Gebirgen die Luft trockener als in der Tiefe. Bei heiterem Wetter scheint die Luft in der Höhe trockener zu sein, bei trübem aber feuchter als unten, denn man sieht oft den Gipfel der Berge in Wolken gehüllt, während die unteren Luftschichten nicht mit Wasserdampf gesättigt sind.

Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft. Die 183
folgende Tabelle giebt den mittleren Wassergehalt der Luft für die einzelnen Monate des Jahres zu Halle.

Monate.	Spannkraft des Wasserdampfes.	Relative Feuchtigkeit.
Januar . . .	4,509mm	85,0
Februar . . .	4,749	79,9
März	5,107	76,4
April	6,247	71,4
Mai	7,836	69,1
Juni	10,843	69,7
Juli	11,626	66,5
August . . .	10,701	61,0
September . .	9,560	72,8
October . . .	7,868	78,9
November . .	5,644	85,3
December . .	5,599	86,2

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum; er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zu Ende des Jahres.

Die letzte Columne dieser Tabelle unter der Ueberschrift »Relative Feuchtigkeit« giebt an, wieviel Procente des bei der mittleren Temperatur des Monats

möglichen Maximums des Waſſergehaltes im Durchſchnitt in der Luft enthalten ſind. Im December iſt alſo im Durchſchnitt die Luft am feuchteſten, d. h. ſie iſt ihrem Sättigungspunkte am nächſten; im Auguſt aber iſt die Luft am trockenſten, obgleich ihr abſoluter Waſſergehalt in dieſem Monate ſehr groß iſt, weil ſie ſehr weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt iſt. Im Auguſt iſt der Waſſergehalt der Luft im Durchſchnitt nur 61 Procent von der Quantität Waſſerdampf, welche in der Luft enthalten ſein müßte, wenn ſie bei der mittleren Temperatur dieſes Monats geſättigt ſein ſollte. In dieſem Sinne ſind alſo November, December, Januar und Februar die feuchteſten, Mai, Juni, Juli und Auguſt die trockenſten Monate des Jahres.

184 **Feuchtigkeit der Luft in verſchiedenen Gegenden.** Die Bildung des Waſſerdampfes iſt vorzugsweiſe von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Waſſer. Bei einem unbegränzten Waſſervorrathe werden ſich um ſo mehr Waſſerdämpfe bilden, je höher die Temperatur iſt; bei gleicher Temperatur aber werden ſich in waſſerreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in waſſerarmen. Daraus folgt nun, daß der abſolute Waſſergehalt der Luft unter ſonſt gleichen Umſtänden von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß und daß ſie im Inneren der großen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt iſt, als auf dem Meere und an den Meeresküſten. Wie ſehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweiſt ſchon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer. Die Hygrometerbeobachtungen, welche Humboldt und G. Roſe in verſchiedenen Gegenden von Sibirien gemacht haben, beweiſen ebenfalls die außerordentliche Trockenheit der Atmoſphäre in dieſen Gegenden. In der Steppe von Platowskaya fanden ſie, daß bei einer Temperatur von 23,7° C. die Differenz der beiden Thermometer des Pſychrometers 11,7° betrug, während ſie bei dem gewöhnlichen Zuſtande der Atmoſphäre nur 5 bis 6° beträgt. Nehmen wir an, die Differenz der Thermometer hätte bei einer Temperatur von 24° C. nur 11° betragen, ſo würde nach der Tabelle auf Seite 442 jedes Cubikmeter Luft 4,5 Gramm Waſſerdampf enthalten haben, eine Quantität, mit welcher die Luft erſt bei — 3° C. geſättigt iſt; da aber die Temperaturdifferenz noch bedeutend größer war, als wir eben näherungsweiſe angenommen hatten, ſo war der Waſſergehalt der Luft noch geringer, der Thaupunkt alſo noch unter — 3° C., die Luft hätte alſo um mehr als 27° erkaltet werden können, ohne daß ein Niederſchlag von Feuchtigkeit erfolgt wäre.

Ein anderes Beiſpiel außerordentlicher Trockenheit beobachtete Abbadie in Abyſſinien. Zu Abbay am blauen Nil zeigte das trockene Thermometer des Pſychrometers 37,1° C., das feuchte 19,9° C.; die Differenz der beiden Thermometer, 17,2°, geht alſo über die Gränzen der Tabelle auf Seite 442 hinaus. Mit Hülfe der Formel auf Seite 441 ergiebt ſich aber, daß das Cubikmeter Luft nur 6 Gramm Waſſerdampf enthält, während es bei 37,1° C. 42,5 Gramm Waſſerdampf enthalten könnte. Der Thaupunkt lag bei + 2° C.

Während eines Samums fand derſelbe Beobachter am Ufer des rothen Meeres die Temperatur der Luft im Schatten 42,7° C., während das feuchte Thermometer 20,6° C. zeigte. Ein Cubikmeter Luft enthielt demnach nur noch 3,8 Gramm Waſſerdampfes, alſo nur $^1/_{15}$ des bei 42,7° C. möglichen Waſſergehaltes. (Poggend. Annal. Bd. LXVIII.)

Auf der ſchweizeriſchen Naturforſcherverſammlung, welche im Jahre 1853 zu Pruntrut gehalten wurde, hielt Deſor einen Vortrag über das Klima der Vereinigten Staaten von Nordamerika und ſeinen Einfluß auf die Sitten und Gebräuche ihrer Bewohner, aus welchem ſich die hohe Bedeutung ergiebt, welche der Waſſergehalt der Atmoſphäre auf die klimatiſchen Verhältniſſe eines Landes ausübt.

Bei gleicher mittlerer Jahreswärme und nahezu gleichem jährlichen Gange der Temperatur zeigt doch das Klima eines Ortes in Nordamerika noch große Verſchiedenheiten von dem der Weſtküſte von Europa, welche den deutſchen Auswanderern ſehr auffallend ſind und ſie zu manchen Aenderungen ihrer Gewohnheiten nöthigen. — Die Wäſche trocknet raſcher; die Brotvorräthe, welche man in Europa mehrere Wochen lang aufbewahren kann, werden dort in wenigen Tagen ungenießbar, weil das Brot zu raſch austrocknet. — Die Ernten ſind in Nordamerika weniger unſicher als in Europa. — In Nordamerika kann man ohne Nachtheil für die Geſundheit in ein eben erſt vollendetes Haus einziehen, man hat nicht nöthig, erſt auf das Austrocknen der Wände zu warten; dagegen haben die Schreiner mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen, indem Holz, welches man in Europa für hinlänglich ausgetrocknet halten würde, um es für Möbel zu verwenden, zu Boſton und New-York in kurzer Zeit reißt; auch müſſen die Schreiner in Amerika viel ſtärkeren Leim anwenden als in Europa.

Alle dieſe Erſcheinungen deuten darauf hin, daß die Luft an den Oſtküſten von Nordamerika im Durchſchnitt weit trockener iſt als an den Weſtküſten von Europa.

Da nun aber weder die Regenmenge noch die Anzahl der Regentage in Nordamerika geringer iſt als in Europa, ſo kann der erwähnte Unterſchied nur dadurch bedingt ſein, daß dort bei ſchönem Wetter die Atmoſphäre weniger mit Feuchtigkeit beladen iſt als bei uns. Die Luft bleibt nicht, wie in England und Weſteuropa, immer ihrem Sättigungspunkte nahe. Sobald es aufgehört hat zu regnen und der Wechſel des Windes ſchönes Wetter bringt, geht das Hygrometer augenblicklich herunter und der Thaupunkt ſinkt bedeutend unter die Temperatur der Luft.

Die Urſache dieſer größeren Trockenheit iſt leicht zu erklären. In Amerika iſt Südweſt der herrſchende Wind, wie in Europa; an den Weſtküſten von Europa kommt aber dieſer Wind mit Feuchtigkeit beladen an, weil er bei ſeiner Berührung mit dem atlantiſchen Ocean viel Waſſerdampf aufnehmen konnte, der Südweſt iſt bei uns alſo Regenwind. Anders an den Oſtküſten von Nordamerika; dort kommen die Südweſtwinde erſt an, nachdem ſie einen weiten Weg über Land und über ziemlich hohe Gebirge zurückgelegt haben, wo ſie ſich ihrer Feuchtigkeit entledigen, weshalb ſie nur ſelten Regen bringen.

Der Einfluß dieſer klimatiſchen Verhältniſſe auf die Bewohner von Nordamerika iſt auffallend. Selten findet man dort, was man wohlgenährt nennt. Die Nordamerikaner ſind meiſtens mager und zeichnen ſich namentlich durch einen langen Hals aus. Europäer, welche nach Amerika kommen, werden bald magerer, während umgekehrt die Nordamerikaner in Europa bald dicker werden.

Dem Europäer, welcher in New-York, Boſton oder Baltimore landet, fällt die fieberhafte Regſamkeit auf, welche überall herrſcht. Jedermann iſt in Eile; die Leute auf der Straße laufen mehr als ſie gehen. Allerdings bemerkt man in den großen Städten Englands etwas Aehnliches, aber die Thätigkeit des Engländers ſcheint mehr überlegt (raisonnée), ſagt Deſor, die des Yankee mehr inſtinktmäßig, mehr das Reſultat einer natürlichen Ungeduld als der Nothwendigkeit. Der Amerikaner gönnt ſich kaum die Zeit zum Speiſen, ſelbſt wenn er nichts zu thun hat. Trotz ihrer anſcheinenden Kälte ſind die Amerikaner weit reizbarer als die Europäer und ihre Empfindlichkeit iſt ſprichwörtlich. —

Gewiß ſind dieſe Eigenthümlichkeiten des Yankeecharakters vorzugsweiſe durch die Trockenheit der Luft bedingt, und man würde bei aufmerkſamer Beobachtung ähnliche Reſultate auch in anderen Ländern finden, die durch große Trockenheit der Luft ausgezeichnet ſind.

185 **Der Thau.** Wenn man an einem ſchwülen Sommertage aus einem kühlen Gewölbe eine Flaſche kalten Waſſers ins Freie bringt, ſo *beſchlägt* ſie, d. h. ſie wird in kurzer Zeit mit zarten Waſſertröpfchen bedeckt, es ſetzt ſich *Thau* auf derſelben ab.

Der Grund dieſer Erſcheinung iſt leicht anzugeben. Die mit der Flaſche zunächſt in Berührung tretenden Luftſchichten werden erkaltet; da die kältere Luft aber nicht ſo viel Waſſerdampf aufnehmen kann, wie die wärmere, ſo muß dieſe Erkaltung nothwendig die Ausſcheidung eines Theils des bisher in jenen Schichten enthaltenen Waſſerdampfes zur Folge haben, die condenſirten Waſſerdämpfe ſetzen ſich aber in Form von Thau auf dem Körper ab, von welchem die Erkaltung ausgeht.

Eine ganz analoge Erſcheinung iſt das Beſchlagen der Fenſterſcheiben eines bewohnten warmen Zimmers, wenn dieſelben von Außen her erkaltet werden.

Die ſtarke Erkaltung, welche alle Körper der Erdoberfläche in heiteren windſtillen Nächten in Folge der nächtlichen Strahlung erleiden (ſ. §. 150), muß aber in gleicher Weiſe eine Ausſcheidung von Waſſerdämpfen in den unterſten Luftſchichten zur Folge haben, welche ſich in Form von *Thautropfen* auf dem Erdboden, auf Steinen, Gras, Laub u. ſ. w. anſetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmeſtrahlungsvermögen haben, ſo erkalten auch einige ſtärker als andere, und ſo kommt es, daß manche Körper ſtark mit Thau überzogen ſind, während andere faſt ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten beſonders ſtark durch die nächtliche Strahlung, theils weil ſie ein ſehr ſtarkes Strahlungsvermögen beſitzen, theils aber auch, weil ſie frei in

die Luft hineinragen, so daß vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als die Steine und den nackten Boden.

Alles, was die nächtliche Strahlung hindert oder vermindert, hindert oder vermindert auch die Thaubildung. Wells legte auf ein Brett, welches in horizontaler Lage durch 4 Stützen 1 Meter hoch über dem Boden gehalten wurde, 10 Gran Wolle und befestigte eine gleiche Quantität Wolle auf der unteren Fläche des Brettes. Nach einer heitern Nacht ergab sich, daß das obere Wollbüschel 14 Gran, das untere nur 4 Gran Feuchtigkeit aufgenommen hatte.

Wenn man über einer Wiese in der Höhe von 2 bis 3 Fuß ein Leintuch ausspannt, so wird der durch das Tuch gegen die nächtliche Strahlung geschützte Theil der Wiese nicht bethaut, während in der ganzen Umgebung eine starke Thaubildung stattfindet.

Dadurch erklärt sich auch, warum bei bewölktem Himmel keine Thaubildung stattfindet.

Daß der Thau nicht etwa, wie man früher meinte, ähnlich dem Regen, aus der Luft herabfällt, hat Wells durch folgenden Versuch bewiesen. Auf den Boden eines oben offenen Cylinders von gebranntem Thon, welcher $^1/_3$ Meter Durchmesser und 1 Meter Höhe hatte, wurde ein Bündel von 10 Gran Wolle gelegt. Obgleich nun dieses Bündel nach oben hin in keiner Weise geschützt war, so nahm es doch im Laufe einer heitern Nacht nur 2 Gran Feuchtigkeit auf, während ein in der Nähe ganz frei auf den Boden gelegtes Bündel Wolle in der gleichen Zeit durch Thau um 16 Gran schwerer wurde.

Selbst bei heiterm Himmel thaut es nicht, wenn ein etwas lebhafter Wind weht, weil er stets von Neuem warme Luft mit dem Boden in Berührung bringt und so theilweise wenigstens den Wärmeverlust ersetzt, welcher durch die nächtliche Strahlung veranlaßt wird.

Der Reif ist nichts Anderes als ein gefrorner Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf mit 186
kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf im physikalischen Sinne des Wortes; denn es ist ja ein verdichteter Dampf.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Großen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen häufig, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder

der feuchte Boden wärmer ſind als die ſchon mit Feuchtigkeit geſättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Waſſers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten ſich alsbald wieder, wenn ſie ſich in der kälteren, ſchon mit Waſſerdämpfen geſättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Waſſers und der Luft bilden ſich keine Nebel, wenn die Luft trocken iſt, ſo daß ſich alle die Waſſerdämpfe, welche am Boden aufſteigen, in ihr verbreiten können, ohne ſie zu ſättigen.

Nach dem, was ſoeben über die Bildung des Nebels geſagt wurde, erklärt ſich leicht, daß ſich die Nebel vorzugsweiſe im Herbſte über Flüſſen und Seen und über feuchten Wieſen bilden. In England ſind die Nebel beſonders häufig, weil es von einem warmen Meere umſpült iſt; ebenſo ſind die warmen Gewäſſer des Golfſtromes, welcher theilweiſe bis nach Neufoundland hinaufſtrömt, die Urſache der dort ſo häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter ſcheinbar ganz verſchiedenen Umſtänden; ſo ſieht man dichte Nebel über den Flüſſen, während die Luft wärmer iſt als das Waſſer oder das Eis. In dieſem Falle iſt die warme Luft mit Feuchtigkeit geſättigt, und wenn ſie ſich mit den Luftſchichten miſcht, welche durch die Berührung mit dem kalten Waſſer oder dem Eiſe ſchon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, ſo muß nothwendig eine Condenſation des Waſſerdampfes erfolgen.

Auf dieſelbe Weiſe entſtehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüſſen und Seen. Die Luft iſt wärmer als die Oberfläche des Waſſers, aber ſie iſt mit Feuchtigkeit geſättigt, und ſobald ſie ſich an Orte verbreitet, an welchen die Friſche des Waſſers fühlbar iſt, wird durch die Erkaltung der Waſſerdampf verdichtet.

Der Nebel bildet ſich jedoch nicht allein über Flüſſen und Seen, ſondern auch mitten im Lande, ſobald durch Luftſtrömungen wärmere feuchte Luftmaſſen mit kälteren gemiſcht und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken ſind nichts Anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen ſchweben, ſowie denn Nebel nichts ſind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft ſieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf dieſen Bergſpitzen ſich mitten im Nebel befinden.

Auf den erſten Anblick ſcheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft ſchweben können, da ſie doch aus Bläschen beſtehen, welche offenbar ſchwerer ſind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieſer kleinen Waſſerbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche ſehr gering iſt, ſo muß die Luft ihrem Fall einen bedeutenden Widerſtand entgegenſetzen, ſie können ſich alſo nur ſehr langſam herabſenken, wie ja auch eine Seifenblaſe, welche überhaupt mit unſeren Dunſtbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langſam fällt. Demnach müſſen aber doch die Dunſtbläschen, wenn auch noch ſo langſam, ſinken, und man ſollte demnach meinen, daß bei ruhigem Wetter die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabkommen müßten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabſinkenden Dunſtbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil ſie bald in wärmere, nicht mit Dämpfen

gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke verschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet; in bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen. Ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit größer ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden:

1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Figur 246 sieht man sie in dem Eck

Fig. 246.

oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel ſchweben. Bei trockenem Wetter ſind die Federwolken mehr ſtreifig, bei feuchtem mehr verwaſchen.

2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unſerer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet iſt, bildet große halbkugelförmige Maſſen, welche auf horizontaler Baſis zu ruhen ſcheinen; dieſe Wolken erſcheinen vorzugsweiſe im Sommer, manchmal thürmen ſich Haufenwolken zu maleriſchen Gruppen zuſammen und bieten dann, von der Sonne beſchienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die Schichtwolken, stratus, ſind horizontale Wolkenſtreifen (in unſerer Figur unter dem cumulus), welche vorzugsweiſe bei Sonnenuntergang mit außerordentlicher Farbenpracht erſcheinen.

Dieſe Grundformen gehen auf mannigfaltige Weiſe in einander über; Howard hat dieſe Uebergangsformen durch die Namen cirro-cumulus, cirro-stratus, cumulo-stratus und nimbus bezeichnet.

Die fedrige Haufenwolke, cirro-cumulus, iſt der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke; es ſind die kleinen weißen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt ſind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerſtreut, ſondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden ſind, ſo bilden ſie die fedrige Schichtwolke, cirro-stratus, welche, wenn ſie nahe am Horizonte ſtehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die cirro-stratus den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, ſo gehen ſie in die ſtreifige Haufenwolke, cumulo-stratus, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauſchwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in unſerer Figur links), übergehen.

Wenn man bedenkt, wie außerordentlich mannigfaltig an Geſtalt ſowohl als auch an Farbe die verſchiedenen Wolken ſein können, ſo begreift man wohl, daß es oft ſchwierig iſt, zu entſcheiden, ob das Anſehen einer Wolke ſich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

Unter allen Wolkenarten ſind die Federwolken die höchſten, denn auf hohen Bergen bieten ſie noch denſelben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20000 Fuß beſtimmt. Es iſt höchſt wahrſcheinlich, daß die cirrus nicht aus Nebelbläschen, ſondern aus Eisnädelchen beſtehen.

Die Haufwolken bilden ſich gewöhnlich, wenn durch den aufſteigenden Luftſtrom die Waſſerdämpfe in die Höhe geführt, welche dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, daß ſich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen iſt. Gegen Abend wird der Himmel wieder heiter, weil die Wolken ſich wieder ſenken, wenn der aufſteigende Strom aufhört; in tieferen wärmeren Regionen angekommen, löſen ſich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen geſättigt iſt. Wenn aber der Südweſtwind mehr und mehr Waſſerdämpfe herbeiführt, während die Luft ſchon mit Dämpfen geſättigt iſt, ſo können die ſich ſenkenden Wolken nicht wieder aufgelöſt werden, ſie werden dichter und

dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufwolken gehen dann mehr und mehr in cumulo-stratus über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen größer und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfließen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens größer, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Regenmenge. Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte 187
der Erde im Laufe eines Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer oder Udometer genannt. Die Fig. 247 stellt den gewöhnlichen Regenmesser dar; er besteht aus einem quadratischen Blechgefäß *b*, welches 4 bis 8 Quadrateentimeter im Querschnitt hat und auf welchem ein zweites Gefäß *a* mit trichterartigem Boden aufgesetzt wird. In der Mitte dieses Trichters befindet sich eine Oeffnung, durch welche alles Wasser, welches in Form von Regen in das oben offene Gefäß *a* hineinfällt, in den Behälter *b* abfließt. Die Glasröhre *d* steht mit dem Inneren des Gefäßes *b* durch eine im Boden desselben angebrachte Oeffnung in Verbindung. An dieser, mit einer Theilung versehenen Röhre kann man nun stets die Höhe des Wasserstandes in *b* ablesen. Vorausgesetzt, daß die Querschnitte von *a* und *b* gleich oder doch nicht merklich verschieden sind, giebt die Höhe der Wasserschicht in *b* an, wie hoch sich der Boden in einer gewissen Zeit mit Wasser bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeschluckt oder verdunstet wäre.

Fig. 247.

Die folgenden Tabellen geben die Regenverhältnisse verschiedener Orte in Europa.

I. Portugal.

	Liſſabon.	Coimbra.	Mafra.	Funchal auf Madeira.
Jährliche Regenmenge	25,4 P. Z.	111,5	41,5	26,0
Im Winter	39,9 Proc.	21,0	53,4	50,6
» Frühling	33,9	18,6	27,5	16,3
» Sommer	3,4	17,6	2,7	2,8
» Herbſt	22,8	42,8	16,4	30,3

II. Weſtliches und ſüdliches England.

	Inſel Man	Briſtol.	Liverpool.	Mancheſter	Lancaſter.	Dover.
Jahr	31,8 P. Z.	21,8	32,3	23,9	37,2	44,1
Winter . . .	27,3 Proc.	20,5	21,6	24,0	26,2	30,3
Frühling . .	18,2	23,8	17,9	20,0	16,1	20,1
Sommer . .	19,7	23,2	27,7	27,0	28,3	21,6
Herbſt . . .	34,8	32,5	32,9	29,0	29,4	28,0

III. Inneres und öſtliches England.

	Orford.	London.	Dumfries.	Glaegow.	Edinburgh	Chatte-worth.
Jahr	20,6 P. Z.	23,4	34,7	20,0	23,3	25,9
Winter . . .	21,9 Proc.	23,6	24,6	24,9	23,4	23,2
Frühling . .	19,3	22,4	18,3	17,8	19,9	19,9
Sommer . .	24,4	23,5	25,5	29,9	26,8	27,9
Herbſt . . .	34,4	30,5	31,6	27,3	29,9	28,9

IV. Weſtküſte von Frankreich und die Niederlande.

	Bordeaux.	La Rochelle	Franecker.	Rotter-dam.	Breda.	Middel-burg.
Jahr	24,3 P.Z.	24,2	18,6	21,2	24,7	25,4
Winter . . .	27,7 Proc.	28,2	21,9	16,5	23,2	21,8
Frühling . .	21,4	19,7	16,8	22,3	18,0	14,1
Sommer . .	24,1	17,9	28,8	29,8	23,9	31,5
Herbſt . . .	26,7	34,2	32,5	31,9	34,9	32,6

V. Weſtrheiniſche Gegenden.

	Paris.	Brüſſel.	Cambray.	Metz.	Troyes.	Straß-burg.	Coblenz.
Jahr . .	20,8 P.Z.	17,9	16,0	27,2	22,4	25,6	20,9
Winter .	20,7 Proc.	18,7	13,8	21,6	18,7	16,0	16,2
Frühling	25,0	23,7	21,9	25	27,4	23,6	24,0
Sommer	30,5	30,7	33,4	21,1	28,1	34,1	35,0
Herbſt . .	23,8	26,9	30,9	31,1	25,8	26,3	24,9

VI. Deutſchland.

	Mann-heim.	Stutt-gart.	Ulm.	Regens-burg	Tegern-ſee.	Gottin-gen.	Erfurt.
Jahr . .	21,0 P.Z.	23,7	25,1	21,1	43,8	24,9	12,6
Winter .	18,3 Proc.	20,1	21,3	19,3	16,4	18,4	15,5
Frühling	23,7	19,8	19,5	17,7	18,5	18,1	21,7
Sommer	32,6	33,5	36,6	40,1	44,7	35,9	41,0
Herbſt . .	25,4	26,6	22,6	22,9	20,4	27,6	21,8

VII. Schweden, Dänemark und Rußland.

	Bergen.	Copenhagen.	Stockholm	Upsala.	Abo.	Petersburg.
Jahr	83,2 P.C.	17,3	19,2	16,7	24,2	17,1
Winter . . .	26,6 Proc.	19,1	14,8	17,4	17,7	13,6
Frühling . .	17,9	15,4	13,3	21,0	18,3	19,4
Sommer . .	21,0	37,7	38,0	32,8	28,0	36,5
Herbst . . .	34,5	27,8	33,9	28,8	36,0	30,5

VIII. Südöstliches Frankreich und die Schweiz.

	Marseille.	Toulon.	Nimes.	Viviers.	Joyeuse.	Bourg en Bresse.	Toulouse.	Dijon.	Genf.	Bern.	Zürich.
Jahr . . .	20,6	17,5	23,7	33,9	47,7	43,3	23,7	23,9	29,8	43,2	32,2
Winter . .	20,8	23,0	22,3	19,4	20,3	20,8	21,0	17,9	21,6	20,9	20,3
Frühling . .	22,3	24,1	24,0	22,2	23,1	24,6	26,2	25,6	21,8	20,0	23,6
Sommer . .	12,5	9,3	13,9	20,0	16,2	24,4	24,9	27,6	29,7	35,1	33,3
Herbst . . .	44,4	43,6	39,8	38,4	40,4	30,2	28,8	28,9	26,9	24,0	22,8

IX. Italien.

	Palermo.	Rom.	Genua.	Florenz.	Siena.	Mailand.	Verona.	Padua.	Rovigo.
Jahr	20,7	29,3	44,4	38,7	32,0	35,5	34,6	34,6	30,8
Winter	39,1	31,0	27,2	35,7	19,7	21,1	18,3	19,0	31,0
Frühling	24,3	24,9	28,6	20,9	26,2	24,1	25,4	26,4	27,4
Sommer	5,5	9,7	9,2	12,9	18,2	23,9	26,1	25,6	14,3
Herbst	31,1	34,3	35,0	30,5	36,9	30,9	30,2	29,0	27,3

Google

Die erſte Horizontalreihe einer jeden dieſer Tabellen giebt die jährliche Regenmenge in Pariſer Zollen an, die folgenden Horizontalreihen aber geben an, wieviel Procente der jährlichen Regenmenge auf die einzelnen Jahreszeiten kommen.

Aus der Betrachtung dieſer Tabellen ergiebt ſich zunächſt, daß ſich Europa in Beziehung auf die Vertheilung des Regens in drei Provinzen theilen läßt.

In England, auf den Weſtküſten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen ſind die Herbſtregen vorherrſchend.

In Deutſchland, den weſtrheiniſchen Gegenden, Dänemark und Schweden herrſchen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen treten im ſüdöſtlichen Frankreich, Italien, dem ſüdlichen Portugal, überhaupt in dem Theile Europas, welcher Afrika zunächſt liegt, bedeutend zurück.

Im Allgemeinen nimmt die Regenmenge mit der Entfernung vom Meere ab; bezeichnen wir die jährliche Regenmenge in Petersburg mit 1, ſo iſt die jährliche Regenmenge

in den Ebenen von Deutſchland	1,2
im Inneren von England	1,4
an den Küſten von England	2,1

Die Regenmenge nimmt mit der Höhe der Orte über der Meeresfläche zu, weil die Berge einen Niederſchlag veranlaſſen, wenn ſie von einem Strome feuchter Luft getroffen werden; daher die bedeutende Regenmenge in den Alpen.

An einem und demſelben Orte nimmt die Regenmenge mit der Höhe über dem Boden ab, wahrſcheinlich weil die Regentropfen, indem ſie durch die mit Waſſerdampf geſättigte Luft herabfallen, ſich fortwährend vergrößern; ſo fallen z. B. im Hofe des Obſervatoriums zu Paris im Laufe eines Jahres durchſchnittlich 57^{cm}, auf der 28 Meter höher liegenden Terraſſe nur 50^{cm} Regen.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchſchnitt kommen auf das Jahr

im ſüdlichen Europa	120	Regentage
» mittleren »	146	»
» nördlichen »	180	»

Daß die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, iſt klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, ſondern auch, wie viel es regnet. Wenn in den nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, ſo nimmt dagegen die Intenſität des Regens im Allgemeinen ab, und ſo erklärt es ſich z. B., daß in Petersburg die Zahl der Regentage zwar größer, die Regenmenge aber geringer iſt als in Rom.

Mit der Entfernung vom Meere nimmt ſowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; ſo kommen z. B. im Durchſchnitt

in Petersburg	168
» Kaſan	90
» Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter ſonſt gleichen Umſtänden der Regen in wärmeren Gegenden intenſiver iſt als in kälteren, ſo iſt er auch in der warmen Jahreszeit intenſiver als in der kalten. Im Durchſchnitt kommen in Deutſchland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage iſt alſo im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt ſo groß als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen, als ſonſt in mehreren Wochen.

188 **Regen zwiſchen den Wendekreiſen.** Da, wo die Paſſatwinde mit großer Regelmäßigkeit wehen, iſt der Himmel meiſtens heiter, und es regnet ſelten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemiſphäre ſteht. Auf den Continenten aber wird die Regelmäßigkeit des Paſſats geſtört durch die Intenſität des aufſteigenden Luftſtromes, ſobald ſich die Sonne dem Zenith nähert; um dieſe Zeit ſtellt ſich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken iſt.

Humboldt hat uns die Erſcheinungen der naſſen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beſchrieben. Vom December bis zum Februar iſt die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Paſſatwind weht weniger ſtark, und oft iſt die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; ſie bilden ſich des Nachmittags, wenn die Hitze am größten iſt, und ſind von heftigen Regengüſſen begleitet. Gegen Ende April fängt eigentlich die naſſe Jahreszeit an; der Himmel überzieht ſich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts iſt der Himmel meiſtens rein. Der Regen wird am heftigſten, wenn die Sonne im Zenith ſteht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit iſt in verſchiedenen Gegenden nicht dieſelbe; ſie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Oſtindien, wo die Regelmäßigkeit der Paſſatwinde durch örtliche Verhältniſſe geſtört iſt und wo ſtatt ihrer die Mouſſons wehen, finden wir ebenfalls regelmäßige Regenverhältniſſe; an der ſteilen Weſtküſte von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unſeres Sommers zuſammen, ſie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südmouſſons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anſtoßen. Während es auf der Küſte Malabar regnet, iſt auf der Oſtküſte Coromandel der Himmel heiter; hier ſtellt ſich die Regenzeit mit dem Nordpaſſat, alſo gerade zu der Zeit ein, in welcher auf der Weſtküſte die trockene Jahreszeit herrſcht.

In der Region der Calmen findet man dieſe periodiſchen Regen nicht, es finden hier faſt täglich heftige Regengüſſe Statt. Der aufſteigende Luftſtrom führt eine Menge von Waſſerdämpfen in die Höhe, welche ſich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht faſt immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag aber bilden ſich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meiſt unter heftigen Windſtößen und elektriſchen Ent-

ladungen, eine ungeheure Regenmenge entſtrömt. Gegen Abend zerſtreut ſich das Gewölk und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge iſt im Allgemeinen in den Tropen ſehr groß, ſie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leona 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havannah 85,7 und in Grenada 105 Pariſer Zoll. Bedenkt man nun, daß der Regen meiſt nur auf wenige Monate vertheilt iſt und daß es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, ſo iſt klar, daß der Regen ſehr ſtark ſein muß. In Bombay fiel an einem Tage 5 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen ſind ſehr groß und fallen mit ſolcher Geſchwindigkeit nieder, daß ſie auf der nackten Haut ein ſchmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Die Karte Tab. XXIII. ſoll dazu dienen, ein Bild der Vertheilung des Regens auf der Erdoberfläche zu geben, und zwar iſt die Schattirung um ſo dunkler, je größer die Regenmenge eines Ortes iſt. Man überſieht z. B. aus dieſer Karte, daß in der Region der Calmen die Regenmenge ſehr bedeutend iſt, während auf dem Meere in der Region der Paſſate ungleich weniger Regen fällt; daß es auf den Inſeln und an den meiſten Küſten der größeren Continente mehr regnet als in den Binnenländern u. ſ. w. Außerdem findet man auf dieſer Karte angegeben, in welcher Jahreszeit der Regen vorherrſchend iſt.

Der Schnee. Die Wolken, aus welchen Schneeflocken herabfallen, be- 189
ſtehen nicht aus Dunſtbläschen, ſondern aus feinen Eiskryſtällchen, welche durch fortwährende Condenſation von Waſſerdämpfen während ihres Herabfallens wachſen und durch Aneinanderhängen einzelner Schneekryſtällchen die Schneeflocken bilden. Sind die unteren Luftſchichten zu warm, ſo ſchmelzen die Schneeflocken, ehe ſie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben ſchneit.

Wenn bei ruhiger Luft nur ſpärliche Schneeflöckchen fallen, ſo zeigen ſie überraſchend ſchöne und regelmäßige Kryſtällchen, welche man am beſten beobachten kann, wenn man ſie auf einem dunklen unter 0° erkalteten Körper auffängt. Schon Kepler hat auf dieſe Schneeſternchen aufmerkſam gemacht. — Scoresby, welcher auf ſeinen Polarexpeditionen reichlich Gelegenheit hatte, Schneeflocken zu beobachten, giebt in ſeiner »Reiſe auf den Wallfiſchfang« die Abbildung von 100 verſchiedenen Schneefiguren, welche bei aller Mannigfaltigkeit doch demſelben Kryſtallſyſteme angehören, nämlich dem drei- und einaxigen, deſſen bekannteſte Repräſentanten Bergkryſtall und Kalkſpath ſind, und welches vorzugsweiſe durch reguläre ſechsſeitige Geſtalten und deren Ableitungen charakteriſirt iſt.

Auch das Eis, wie es ſich auf der Oberfläche ruhiger Gewäſſer bildet, hat eine dieſem Kryſtallſyſteme entſprechende Structur, wie ſich dies durch die optiſchen Eigenſchaften deſſelben nachweiſen läßt (Lehrbuch der Phyſik, 5te Aufl. Bd. I. Seite 706), obgleich ſich an demſelben äußerlich keine Kryſtallflächen auffinden laſſen.

Fig. 248 und Fig. 249 zeigen einige Schneefiguren, welche ich im Laufe des Januar und Februar 1855 zu beobachten Gelegenheit hatte. — Bei ge-

nauerer Betrachtung findet man bald, daß die Beſtandtheile, aus welchen ſich die Schneeſternchen zuſammenſetzen, theils feine Eisnädelchen, theils durchſichtige ganz dünne Eisblättchen ſind, welche meiſt die Geſtalt eines regulären Sechsecks haben. Auf dieſe durchſichtigen Eisblättchen erſcheinen dann häufig gleichſam Verſtärkungsrippen aufgeſetzt, welche nicht wenig zur Verſchönerung dieſer zierlichen Geſtalten beitragen, und welche in dem centralen Theile bald ein regelmäßiges Sechseck, bald einen ſechsſeitigen Stern bilden, wie man dies in Fig. 249 ſieht.

Die Eisnadeln und die aus ſolchen gebildeten Combinationen, wie man ſie in Fig. 248 ſieht, beobachtet man in der Regel, wenn die Temperatur der Luft

Fig. 248.

Fig. 250.

während des Schneefalls nur wenig unter den Gefrierpunkt geſunken iſt; bei niedrigeren Temperaturen werden die Eisblättchen und die aus ihnen gebil-

Fig. 249.

deten Combinationen, wie Fig. 249, häufiger. — Unter einer Temperatur von 12° findet wohl kaum mehr ein Schneefall Statt.

Die bisher betrachteten Schneesternchen Fig. 248 und Fig. 249 sind durchaus flächenhafte Gebilde, da sie senkrecht zur Ebene des Sternes nur sehr dünn sind. Körperhaftere Gestalten treten auf, wenn mehrere solcher Schneesternchen den Gesetzen der Zwillingsbildung entsprechend sich so verbinden, daß ihre Ebenen unter Winkeln von 60° sich schneiden, oder auch wenn zwei parallele Schneeblättchen durch eine auf ihrer Ebene senkrechte Säule oder Nadel verbunden sind. Gestalten dieser Art sind die beiden unteren in Fig. 250. Bei der ersten dieser Figuren sind zwei sechsseitige Eistäfelchen durch eine sechsseitige Säule verbunden. Scoresby bezeichnet diese Gestalt als eine äußerst selten vorkommende; ich selbst habe solche Schneekryställchen im Januar 1854 beobachtet. Die unterste Combination der Fig. 250, bei welcher ein größerer Schneestern mit einem kleineren Eistäfelchen durch eine Eisnadel verbunden ist, sah ich häufig zu Anfang März 1855. Die oberste dieser drei Gestalten, die sechsseitige Pyramide, welche an die gewöhnliche Form des Bergkrystalls erinnert, wurde von Scoresby beobachtet; diese Form ist aber gleichfalls eine höchst seltene.

Bei stürmischem Schneefall, wenn die Schneeflocken dicht fallen und in der Luft durcheinander wirbeln, lassen sich die oben besprochenen zierlichen Figuren nicht mehr beobachten; die unter solchen Umständen fallenden Schneeflocken bestehen aus unregelmäßig zusammenhängenden Eisnädelchen.

Im Februar 1855 fand ich den frisch gefallenen Schnee ungefähr 7mal weniger dicht als Wasser, so daß also 7 Cubikfuß frisch gefallenen Schnees ungefähr so viel wiegen wie 1 Cubikfuß Wasser.

Die Oberfläche des Schnees zeigt eine rein weiße Farbe; wo aber der reine Schnee zu etwas großen Massen angehäuft ist, zeigt sich in Höhlungen und Spalten desselben eine schöne blaugrüne Färbung, welche namentlich deutlich hervortritt, wenn der Schnee durch theilweise Schmelzung etwas mit Wasser durchtränkt ist. Es ist dies dieselbe schöne Färbung, welche man in den Spalten und Höhlungen des Gletschereises bewundert.

Der Graupelregen, welchen man gewöhnlich im März und April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen, sie sind gewissermaßen kleine Schneebällchen.

Der Hagel unterscheidet sich von den Graupelkörnern dadurch, daß er 190
nicht aus geballten Eisnädelchen, sondern aus dichtem, meist durchsichtigem Eise besteht.

Die gewöhnliche Größe der Hagelkörner ist die einer Haselnuß; sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet; oft sind sie aber auch noch weit größer und zerschmettern dann Alles, was sie treffen. Alte Chroniken erzählen von Hagelkörnern, welche so groß gewesen sein sollen wie Elephanten. Ohne uns bei solchen fabelhaften Erzählungen aufzuhalten, wollen wir sogleich zur Aufzählung zuverlässiger Nachrichten übergehen.

Halley erzählt, daß am 9. April 1697 Hagelkörner fielen, welche 10 Loth wogen; Robert Taylor hat am 4. Mai 1697 Hagelkörner gemeſſen, deren Durchmeſſer 4 Zoll betrug. Montignot ſammelte den 11. Juli 1753 zu Toul Hagelkörner, welche 3 Zoll Durchmeſſer hatten. Volta verſichert, daß man unter den Hagelkörnern, welche in der Nacht vom 19. auf den 20. Auguſt 1787 die Stadt Como und ihre Umgebungen verwüſteten, einige gefunden habe, welche 18 Loth wogen. Nach Röggerath fielen während des Hagelwetters vom 7. Mai 1822 zu Bonn Hagelkörner, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Die Form der Hagelkörner iſt ſehr verſchieden. In der Regel ſind ſie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet ſich in der Regel ein undurchſichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieſer Kern iſt mit einer durchſichtigen Eismaſſe umgeben, in welcher ſich manchmal einzelne concentriſche Schichten unterſcheiden laſſen; bisweilen beobachtet man abwechſelnd durchſichtige und undurchſichtige Eisſchichten, endlich hat man auch ſchon Hagelkörner mit ſtrahliger Structur beobachtet.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet ſie. Nie, oder wenigſtens faſt nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meiſtens nur einige Minuten, ſelten dauert es $^1/_4$ Stunde lang. Die Menge des Eiſes, welches in ſo kurzer Zeit den Wolken entſtrömt, iſt ungeheuer; die Erde iſt manchmal mehrere Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tage als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, ſcheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben; denn ſie verbreiten in der Regel eine große Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, daß ſie eine eigenthümliche grauröthliche Farbe beſitzen, daß an ihrer unteren Gränze große Wolkenmaſſen herabhängen und daß ihre Ränder vielfach zerriſſen ſind.

Die Hagelwolken ſcheinen meiſtens ſehr niedrig zu ſchweben. Die Bergbewohner ſehen öfter unter ſich die Wolken, welche die Thäler mit Hagel überſchütten: ob jedoch die Hagelwolken immer ſo tief ziehen, läßt ſich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, raſſelndes Geräuſch. Endlich iſt der Hagel ſtets von elektriſchen Erſcheinungen begleitet.

Um einen Begriff zu geben, wie weit und wie ſchnell ſich dieſe furchtbare Geißel verbreiten kann, mögen hier einige nähere Angaben über das Hagelwetter folgen, welches den 13. Juli 1738 Frankreich und Holland durchzog.

Das Hagelwetter verbreitete ſich gleichzeitig in zwei parallelen Streifen; der öſtliche Streifen war ſchmäler, ſeine größte Breite betrug 3, ſeine geringſte

$^3/_5$ geographiſche Meilen; der weſtliche Streifen war an ſeiner ſchmalſten Stelle nahe 2, an ſeiner breiteſten 3 Meilen breit. Dieſe beiden Streifen waren durch einen im Durchſchnitt $3^1/_4$ Meilen breiten Streifen getrennt, auf welchem es nur regnete.

Die Richtung dieſer Streifen ging von Südweſt nach Nordoſt. Eine von Amboiſe nach Mecheln gezogene gerade Linie bildete ungefähr die Mitte des öſtlichen, eine andere von der Mündung des Indre in die Loire bis Gent gezogene bildete ungefähr die Mitte des weſtlichen Streifens.

Auf dieſer ganzen Länge, welche über 100 Meilen beträgt, fand keine Unterbrechung des Gewitters Statt, und ſicheren Angaben zufolge kann man annehmen, daß es ſich noch 50 Meilen weiter nach Süden und 50 Meilen weiter nach Norden erſtreckte, ſo daß ſeine Totallänge über 200 Meilen betrug. Es verbreitete ſich mit einer Geſchwindigkeit von 16 Meilen in der Stunde von den Pyrenäen, wo es ſeinen Anfang genommen zu haben ſcheint, bis zum Baltiſchen Meere, wo man ſeine Spur verlor.

Der Hagel fiel nur 7 bis 8 Minuten lang; die Hagelkörner waren theils rund, theils zackig; die ſchwerſten wogen 16 Loth.

Die Zahl der in Frankreich verwüſteten Pfarrdörfer betrug 1039; der Schaden, welchen das Wetter anrichtete, wurde nach officiellen Angaben auf 24,690,000 Franken geſchätzt.

Was die Erklärung des Hagels betrifft, ſo bietet ſie zwei Schwierigkeiten; nämlich woher die große Kälte kommt, welche das Waſſer gefrieren macht, und dann, wie es möglich iſt, daß die Hagelkörner, wenn ſie einmal ſo groß geworden ſind, daß ſie eigentlich durch ihr Gewicht herabfallen müßten, noch ſo lange in der Luft bleiben können, daß ſie zu einer ſo bedeutenden Maſſe erwachſen können.

Was die erſte Frage betrifft, ſo meinte Volta, daß die Sonnenſtrahlen an der oberen Gränze der dichten Wolke faſt vollſtändig abſorbirt würden, was eine raſche Verdunſtung zur Folge haben müſſe, namentlich wenn die Luft über den Wolken ſehr trocken iſt; durch dieſe Verdunſtung ſolle nun ſo viel Wärme gebunden werden, daß das Waſſer in den tieferen Wolkenſchichten gefriert. Wenn aber die Verdunſtung des Waſſers in den oberen Wolkenſchichten durch die Wärme der Sonnenſtrahlen veranlaßt wird, ſo iſt nicht einzuſehen, warum durch die Verdunſtung den tieferen Wolkenſchichten ſo viel Wärme entzogen werden ſoll.

In Beziehung auf die zweite Frage ſchlug Volta eine Theorie vor, welche große Celebrität erlangt hat; er nimmt nämlich an, daß zwei mächtige, mit entgegengeſetzter Elektricität geladene Wolkenſchichten über einander ſchweben. Wenn nun die noch ſehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, ſo werden ſie bis zu einer gewiſſen Tiefe eindringen und ſich mit einer neuen Eisſchicht umgeben; ſie werden ſich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieſer zurückgeſtoßen, während die obere ſie anzieht; ſie ſteigen alſo trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo ſich derſelbe Vorgang wiederholt; ſo fahren ſie eine Zeitlang zwiſchen den beiden

Wolken hin und her, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Gegen diese Ansicht läßt sich einwenden, daß es schwer denkbar ist, wie die Elektricität ohne eine plötzliche Wirkung, also ohne einen Entladungsschlag, so große Eismassen in die Höhe zu heben vermag, und daß, wenn wirklich die elektrische Ladung der beiden Wolken auch so stark sein sollte, die Elektricität augenblicklich von einer zur anderen übergehen müßte, namentlich da ja die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwischen ihnen herstellen.

Bereits im Januar 1849 theilte mir Fr. Vogel aus Frankfurt a. M. eine Ansicht über Hagelbildung mit, die ein, so viel ich weiß, bis jetzt ganz unbeachtet gebliebenes Element zur Erklärung dieses räthselhaften Phänomens enthält. Vogel meint nämlich, daß der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, ebenfalls weit unter den Schmelzpunkt des Eises erkalten könne, ohne daß ein Erstarren eintritt, wie man dasselbe beim tropfbar flüssigen Wasser beobachtet (Lehrbuch der Physik, 5. Aufl. 2. Bd. S. 532). Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graupelkörner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen, so muß auf ihnen sich Wasser niederschlagen, welches augenblicklich erstarrt. Der niedrigen Temperatur der Wolke wegen kann auf diese Art in ganz kurzer Zeit eine massenhafte Eisbildung stattfinden.

Es ist nun zunächst die Frage, ob es noch andere Phänomene giebt, welche gleichfalls darauf hindeuten, daß der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich existirt, d. h. daß es wirklich Regenwolken gebe, welche weit unter 0° erkaltet sind. (Bei den Schneewolken sind die Wassertheilchen bereits in den festen Zustand übergegangen; denn diese Wolken bestehen aus feinen in der Luft schwebenden Eisnädelchen.)

Ich selbst habe in der That ein solches Phänomen beobachtet. Im Januar 1845 fiel, nachdem das Thermometer einige Tage lang über dem Gefrierpunkt gestanden hatte, ein Regen, welcher den Boden mit einer Eiskruste überzog. Daß diese Erscheinung nicht etwa ein gewöhnliches Glatteis war, versteht sich von selbst, denn der Boden war nicht unter 0° erkaltet, er konnte also nicht die Ursache der Erstarrung sein. Sogar Regenschirme, die doch aus dem warmen Zimmer genommen waren, wurden in kurzer Zeit durch diesen Regen mit einer $^1/_2$ Linie dicken durchsichtigen Eiskruste überzogen.

Am 13. November 1858 habe ich dieselbe Erscheinung abermals beobachtet.

Diese auffallende Erscheinung, welche ich als eine ganz vereinzelt stehende Thatsache fast vergessen hatte, erhielt nun durch Vogel's Mittheilung eine große Bedeutung; denn sie liefert den Beweis, daß der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich vorkommt. Offenbar bestanden die fallenden Regentropfen aus Wasser, welches unter den Gefrierpunkt erkaltet war, aber erst beim Aufschlagen auf feste Körper erstarrte.

Etwas später als Vogel theilte mir C. Röllner in Hamburg eine ganz ähnliche Ansicht über Hagelbildung mit, ohne daß er wohl von Vogel's Theorie, die meines Wissens noch nirgends publicirt worden war, Kenntniß haben konnte.

Eine schöne Bestätigung der eben vorgetragenen Theorie der Hagelbildung lieferte die am 27. Juli 1850 von Barral und Bixio zu Paris unternommene Luftfahrt. — Der Himmel, welcher bis Mittag vollkommen rein gewesen, begann um 1 Uhr, als die Füllung des Ballons beendigt war, sich mit Wolken zu überziehen und alsbald trat Regen ein, welcher bis 3 Uhr in Strömen herabfiel. Erst um 4 Uhr, als der Himmel noch ganz bedeckt war, konnte die Fahrt begonnen werden.

Folgendes sind einige Temperaturbeobachtungen, welche sie in den beigesetzten durch das Barometer bestimmten Höhen beobachteten.

Nr. 1 . .		16° C.	. .	2300	Par.	Fuß
» 2 . .		9 »	. .	6000	»	»
» 3 . .	—	0,5 »	. .	11250	»	»
» 4 . .	—	7,0 »	. .	15360	»	»
» 5 . .	—	10,5 »	. .	18990	»	»
» 6 . .	—	35,0 »	. .	19530	»	»
» 7 . .	—	39,0 »	. .	21060	»	»

Kurz nach dem Aufsteigen sahen sich die Luftschiffer in einen leichten Nebel eingehüllt; bei der Beobachtung Nr. 2, also in einer Höhe von ungefähr 6000 Fuß, hatten sie bereits eine Wolkenschicht unter sich, welche Paris verdeckte.

Bei der Beobachtung Nr. 4, also in einer Höhe von 15360 Fuß, wurde der Nebel so dicht, daß ihnen die Erde vollständig verschwand. Bei Nr. 5 wurde der Nebel etwas dünner, so daß man ein weißes blasses Sonnenbild sehen konnte, zugleich fielen äußerst feine Eisnädelchen nieder; kurz darauf erhoben sie sich aus der Wolkenschicht, wobei das Thermometer rasch auf — 23,8° C. fiel. Bei den Beobachtungen Nr. 6 und Nr. 7 war der Himmel vollkommen heiter.

Barral und Bixio durchstiegen also eine Nebelschicht von wenigstens 12000 Fuß Höhe. Von einer Höhe von ungefähr 11000 Fuß an sank das Thermometer unter den Gefrierpunkt, und doch ging der Nebel erst in einer Höhe von nahe 18000 Fuß bei einer Temperatur von — 10° in Schneewolken (Eisnädelchen) über, es war also eine ungefähr 7000 Fuß hohe Wolke vorhanden, in welcher der Bläschendampf unter den Gefrierpunkt erkaltet war.

Viertes Buch.

Die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche.

Erſtes Capitel.

Atmoſphäriſche Elektricität.

Entdeckung der atmoſphäriſchen Elektricität. Otto von 191
Guerike, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erſte, welcher eine elektriſche Lichterſcheinung beobachtete. Als ſpäter, 1708, Wall einem großen geriebenen Harzcylinder kräftige elektriſche Funken entlockte, kam er alsbald auf den glücklichen Gedanken, denſelben mit dem Blitze zu vergleichen. »Dieſer Funken und dieſes Knacken,« ſagt Wall in ſeiner Abhandlung (Philosoph. Transactions), »ſcheinen gewiſſermaßen den Blitz und den Donner darzuſtellen.« Die Analogie war überraſchend; um aber ihre Wahrheit darzuthun, um in einer ſo kleinen Erſcheinung die Urſache und die Geſetze von einer der großartigſten Naturerſcheinungen zu erkennen, bedurfte es directer experimenteller Beweiſe.

Die Aehnlichkeit zwiſchen dem elektriſchen Funken und dem Blitze trat noch deutlicher hervor, als die Entdeckung der Leidner Flaſche und der elektriſchen Batterie gemacht worden war; Franklin war jedoch der Erſte, welcher daran dachte, das von ihm aufgefundene Ausſtrömen oder Einſaugen der Elektricität durch Spitzen zu benutzen, um unmittelbar die elektriſche Natur der Gewitterwolken nachzuweiſen und ſich durch ſolche Spitzen vor den Entladungen derſelben zu ſchützen. Da er aus Mangel an Hülfsmitteln die entſprechenden Verſuche nicht ſelbſt anſtellen konnte, ſo munterte er die Phyſiker Europas auf, dieſelben zu verfolgen. Der Erſte, welcher dieſer Aufforderung Folge leiſtete, war Dalibard, ein franzöſiſcher Phyſiker, welcher zu Marly-la-Ville eine Hütte bauen ließ, über welcher eine am unteren Ende iſolirte Eiſenſtange von 40 Fuß Länge aufgerichtet wurde. Als am 10. Mai 1752 eine Gewitterwolke über die Stange hinwegzog, ließen ſich aus dem iſolirten Ende derſelben Funken ziehen, und überhaupt zeigte es alle Erſcheinungen, welche man am Conductor der Elektriſirmaſchine beobachtet.

Unterdeſſen hatte aber auch Franklin ſelbſt ſeine Idee weiter verfolgt. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals zu Philadelphia aufgeführt werden ſollte; endlich aber, des Wartens müde, nahm er zu einem anderen Mittel ſeine Zuflucht, welches noch ſicherere Reſultate geben mußte. Da es ja nur darauf ankam, einen Leiter hoch genug in die Luft zu erheben, ſo dachte Franklin, daß ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben ſo gut dienen könnte, wie der höchſte Thurm. Er verfertigte alſo einen Drachen, zu welchem er ſtatt des Papiers, welches vom Regen aufgeweicht und dann leicht vom Winde zerriſſen worden wäre, ein großes ſeidenes Tuch verwendete. Am oberen Ende des verticalen Stabes im Drachen befeſtigte er eine eiſerne Spitze, welche mit der Schnur in leitende Verbindung gebracht wurde, an welcher man die ganze Vorrichtung ſteigen ließ.

Mit dieſem Drachen begab ſich Franklin, nur von ſeinem Sohne begleitet, ins Freie, als ein Gewitter aufſtieg. Eine Wolke, welche viel verſprach, zog über dem Drachen hin, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, und es zeigte ſich kein Funken, kein Zeichen von Elektricität, ohne Zweifel, weil die Schnur ein zu ſchlechter Leiter der Elektricität war; endlich, nachdem ſie durch den Regen feucht und in Folge deſſen beſſer leitend geworden war, fingen die Faſern am unteren iſolirten Ende der Schnur an, ſich aufzuſtellen, und es ließ ſich ein ſchwaches Geräuſch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und ſiehe da, ein Funken ſprang über, welchem bald mehrere folgten.

Franklin hatte dieſen Verſuch im Juni 1752 angeſtellt. Durch Franklin's erſten Gedanken geleitet, war auch De Romas zu Nerac auf die Idee gekommen, einen Drachen ſtatt der hochgeſtellten Spitzen anzuwenden.

Ohne von Franklin's Reſultaten Kunde zu haben, erhielt er mit ſeinem Drachen im Juni 1753 ſehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er den glücklichen Gedanken hatte, in die Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht einflechten zu laſſen. (Mém. des Savans étrangers, Tome II.) Im Jahre 1757 wiederholte De Romas ſeine Verſuche und erhielt Funken von überraſchender Größe. »Man denke ſich,« ſagt er, »Feuerſtreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches eben ſo ſtark, ja ſtärker iſt, als ein Piſtolenſchuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich wenigſtens 30 ſolcher Funken, tauſend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuß lang waren.« (Mém. des Savans étrangers, Tome VI.)

Um das untere Ende der leitenden Schnur gehörig zu iſoliren, band De Romas eine ſeidene Schnur von 8 bis 10 Fuß Länge daran; ſtatt die Funken, wie es Franklin gethan hatte und was ihm leicht hätte gefährlich werden können, mit der Hand auszuziehen, wandte er zu dieſem Zweck einen eignen Funkenzieher, d. h. einen metalliſchen Leiter an, welcher mit dem Boden in leitender Verbindung ſtand. Trotz aller dieſer Vorſichtsmaßregeln aber wurde er einmal durch einen Schlag, der ihn ſelbſt traf, zu Boden geworfen.

Feste Sammelapparate für atmosphärische Elektricität. 192
Durch diese Versuche war nun die Identität des Blitzes und der elektrischen Funken vollständig nachgewiesen; sie wurden vielfach, zum Theil in höchst unvorsichtiger Weise wiederholt, indem man zum Ansammeln der atmosphärischen Elektricität theils den elektrischen Drachen oder, weil seine Anwendung doch mit mannigfachen Schwierigkeiten und Umständlichkeiten verbunden ist, eiserne Spitzen auf isolirenden hölzernen Stangen befestigt anwandte, von denen man die Elektricität durch isolirte Leitungsdrähte bis zum Beobachtungsorte führte.

Im großartigsten Maßstabe führte Crosse zu Broomfield bei Taunton einen solchen Sammelapparat aus. Auf einigen der höchsten Bäume seines Parkes wurden Stangen befestigt, welche die wohl isolirten oberen Enden der Leitungsdrähte trugen; alle diese Leitungsdrähte liefen auf der Spitze eines in dem Boden befestigten Mastes zusammen, von wo ein ebenfalls wohl isolirter starker Kupferdraht in das Beobachtungszimmer hineingeleitet war, wo er in einem großen, gut isolirten messingenen Conductor endete; diesem Conductor gegenüber stand ein Funkenzieher, welcher zu einem benachbarten Teiche abgeleitet war und dessen messingene Kugel mittelst einer Schraube dem ersten Conductor nach Belieben näher oder ferner gebracht werden konnte. Durch einen mit einem gläsernen Handgriffe versehenen Hebel konnte man die Elektricität schon außerhalb des Beobachtungsraumes in den Boden ableiten, wenn die Entladungen zu stark wurden oder wenn überhaupt die Beobachtungen eingestellt werden sollten.

Solche feste Sammelapparate lassen sich nun auch in kleinerem Maßstabe und mit geringeren Kosten ausführen. Fig. 251 (a. f. S.) stellt eine solche Vorrichtung dar; eine eiserne oder messingene, oben zugespitzte Stange A von 2 bis 3 Fuß Länge ist auf dem obern Ende einer 20 bis 30 Fuß hohen hölzernen Stange B angebracht, welche selbst auf dem höchsten Gipfel des Beobachtungsgebäudes befestigt ist. Es ist gut, wenn das Gebäude, auf welchem man die Saugspitzen aufrichtet, möglichst frei steht oder wenigstens etwas über die benachbarten Häuser hervorragt. Damit die Saugspitze A durch die Stange B gehörig isolirt sei, ist dieselbe mit einem Hut C von Kupferblech oder von Guttapercha versehen, welcher ungefähr 3 Zoll im Durchmesser halten und 1 Fuß lang sein mag; durch diesen Hut wird das obere Ende der Stange B selbst bei Regenwetter trocken erhalten.

Von der Saugspitze A ist nun ein Kupferdraht d (am besten ein mit Guttapercha überzogener) herabgeleitet und an einem messingenen Stäbchen fg (Fig. 252) befestigt, welches, in eine isolirende Glasröhre eingekittet, die von oben herabkommende Elektricität durch die Wand des Beobachtungszimmers hindurch zu der ungefähr einzölligen Kugel h führt. Der besseren Isolirung wegen kann auch die Glasröhre wenigstens an ihrem äußeren Ende durch eine Kappe von Guttapercha verschlossen sein. Dieser Kugel h gegenüber, welche hier die Rolle des ersten Conductors spielt, befindet sich eine zweite messingene Kugel k, welche als Funkenzieher dienend zum Boden abgeleitet ist, wie man in der Figur sehen kann. Diese zweite Kugel kann nach Belieben höher oder tiefer

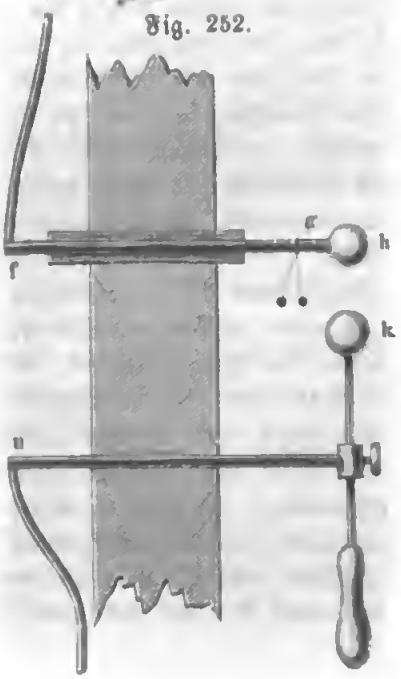
Fig. 251.

gestellt und so ihr Abstand von *h* regulirt werden. Um den Apparat außer Wirksamkeit zu setzen, hat man nur zwischen *f* und *n* auf irgend eine zweckmäßige Weise eine leitende Verbindung herzustellen.

Wenn die Luftelektricität einen gewissen Grad von Stärke erreicht hat, so divergiren die bei *g* angehängten elektrischen Pendel; wird sie noch stärker, so schlagen zwischen *h* und *k* Funken über, und man kann alsdann an der Kugel *h* eine Leidner Flasche oder eine ganze Batterie laden, wie an dem Conductor einer Elektrisirmaschine.

193 **Die Blitzableiter.** Franklin's praktischer Geist wandte alsbald seine an elektrischen Drachen gemachten Erfahrungen auf die Construction der Blitzableiter an. Im Wesentlichen bestehen dieselben aus einer zugespitzten Metallstange, welche in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen:

Fig. 252.



1. die Stange muß in eine feine Spitze zulaufen;

2. die Verbindung mit dem Boden muß vollkommen leitend sein;

3. von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestoßen, welche mit der der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten, die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze

gezogen, wo ſie frei in die Luft ausſtrömen kann; auf dieſe Weiſe iſt keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während ſo der Blitzableiter in Thätigkeit iſt, während ihn die entgegengeſetzten Elektricitäten in entgegengeſetzter Richtung durchſtrömen, kann man ſich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren; denn wo keine elektriſche Spannung vorhanden iſt, iſt auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der drei oben genannten Bedingungen ſei nicht erfüllt, die Spitze ſei ſtumpf, die Leitung zum Boden ſei unvollkommen oder unterbrochen, ſo iſt klar, daß eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, ſondern auch, daß ſie unvermeidlich iſt; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft ſein kann; man kann bald ſchwächere, bald ſtärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze ſtumpf iſt, ſo kann der Blitz einſchlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne dem Gebäude zu ſchaden.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen iſt, ſo kann der Blitz ebenfalls einſchlagen, er wird ſich aber auch ſeitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben ſolche Zerſtörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden geweſen wäre.

Fig. 253.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher dieſen Fehler hat, iſt ſehr gefährlich, ſelbſt wenn der Blitz nicht einſchlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft iſt, ſo kann ein Funken ſeitwärts überſchlagen, welcher nahe Gegenſtände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beiſpiel anführen. Richmann, Profeſſor der Phyſik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in ſein Haus heruntergeleitet war und deſſen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu unterſuchen. Sokolow, Kupferſtecher der Akademie, ſah, wie der Funken Richmann auf die Stirn traf.

Nachdem wir angegeben haben, welche Bedingungen erfüllt ſein müſſen, wenn ein Blitzableiter wirkſam ſein ſoll, und welche Gefahren daraus entſpringen, wenn man ſie vernachläſſigt, bleibt noch Einiges über die praktiſche Ausführung der Blitzableiter zu ſagen übrig. Gay-Luſſac hat unter den Auſpicien der Akademie der Wiſſenſchaften eine treffliche Inſtruction über dieſen Gegenſtand verfaßt. Nach dieſer ſoll die Spitze des Blitzableiters die Fig. 253 dargeſtellte Einrichtung haben. Auf einer 8,6 Meter langen Eiſenſtange iſt ein 0,6 Meter langer, etwas koniſcher Meſſingſtab eingeſchraubt und dann noch mit einem Querſtift befeſtigt. Oben iſt in dieſem Meſſingſtab eine Platinnadel von 0,05 Meter Länge mit Silber eingelöthet und die Verbindungsſtelle mit einer Hülle von Meſſing umgeben.

In Deutſchland macht man gewöhnlich auch die Spitze der Blitzableiter von Eiſen, vergoldet ſie oben, um zu verhindern, daß ſie roſtet und dadurch abgeſtumpft wird.

Die Stange des Blitzableiters, welche in verſchiedener Weiſe auf dem Gebäude befeſtigt werden kann, muß nun mit dem feuchten Boden durch eine metalliſche Leitung verbunden werden. Es dienen dazu gewöhnlich eiſerne Stangen oder ſtarke Kupferdrähte. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe iſt, welcher nicht austrocknet, oder wenn man ein Loch bis zur Tiefe bohren kann, in welcher ſich beſtändig Waſſer findet, ſo reicht es hin, die Stange hineinzuleiten, indem man ſie in mehrere Arme theilt. Um die Berührungspunkte zu vermehren, führt man die Stange durch Windungen zu dem Brunnen oder dem Bohrloche, welche man dann mit Holzkohlen ausfüllt. Dies gewährt den doppelten Vortheil, daß auf dieſe Weiſe das Eiſen beſſer vor Roſt geſchützt wird und daß es mit einem guten Leiter, der Kohle, in Berührung iſt.

Wenn man kein Waſſer in der Nähe hat, muß man die Stange wenigſtens durch einen langen Canal, der mit Kohlen ausgefüllt wird, an einen feuchten Ort leiten. Der größeren Sicherheit wegen kann man die Leitſtange auch noch in Seitencanäle verzweigen.

Wenn man leicht einſieht, daß der Blitz nicht in einen nach dieſen Principien conſtruirten Blitzableiter ſchlägt, ſo iſt es nicht ſchwieriger, zu begreifen, daß er auch in einiger Entfernung vom Blitzableiter nicht einſchlagen kann. Die Elektricität, welche in reichlichem Maße durch die Spitze ausſtrömt, wird durch die Gewitterwolke angezogen und neutraliſirt, daſelbſt angekommen, einen Theil der urſprünglichen Elektricität dieſer Wolke. Wenn alſo eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug iſt, um vertheilend wirken zu können, ſo wird auch ſogleich ihre elektriſche Kraft durch das Zuſtrömen der entgegengeſetzten Elektricität aus der Spitze geſchwächt. Je mehr ſich die Wolke nähert, deſto ſtärker wirkt ihre vertheilende Kraft, deſto mehr wird ſie aber auch durch das Zuſtrömen der entgegengeſetzten Elektricität neutraliſirt.

Die Wirkſamkeit des Blitzableiters iſt jedoch noch an einige andere Bedingungen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen Gegenſtänden überragt wird, ſo kann die Elektricität der Wolke auf dieſe ſtärker wirken als auf den Blitzableiter, es iſt alſo ein Schlag möglich; ebenſo wenn bedeutende Metallmaſſen, etwa eiſerne Stangen oder eine metalliſche Dachbedeckung, ſich in der Nähe des Blitzableiters befinden. In dem letzteren Falle muß man dieſe Metallmaſſen möglichſt gut in leitende Verbindung mit dem Blitzableiter bringen, damit die angezogene Elektricität ungehindert durch die Spitze ausſtrömen kann. Es iſt demnach gefährlich, die metallene Dachbedeckung von dem Blitzableiter zu iſoliren, wie dies einige Praktiker vorgeſchlagen haben. Glücklicher Weiſe ſind die Mittel, welche ſie zur Iſolirung angewandt haben, nicht ausreichend, um ihren Zweck zu erfüllen, und ſo haben ſie nur etwas Unnützes gemacht.

Die Erfahrung zeigt, daß ein mit allen Vorſichtsmaßregeln angelegter

Blitzableiter von den angegebenen Dimenſionen einen Umkreis von ungefähr 20 Metern Radius ſchützt.

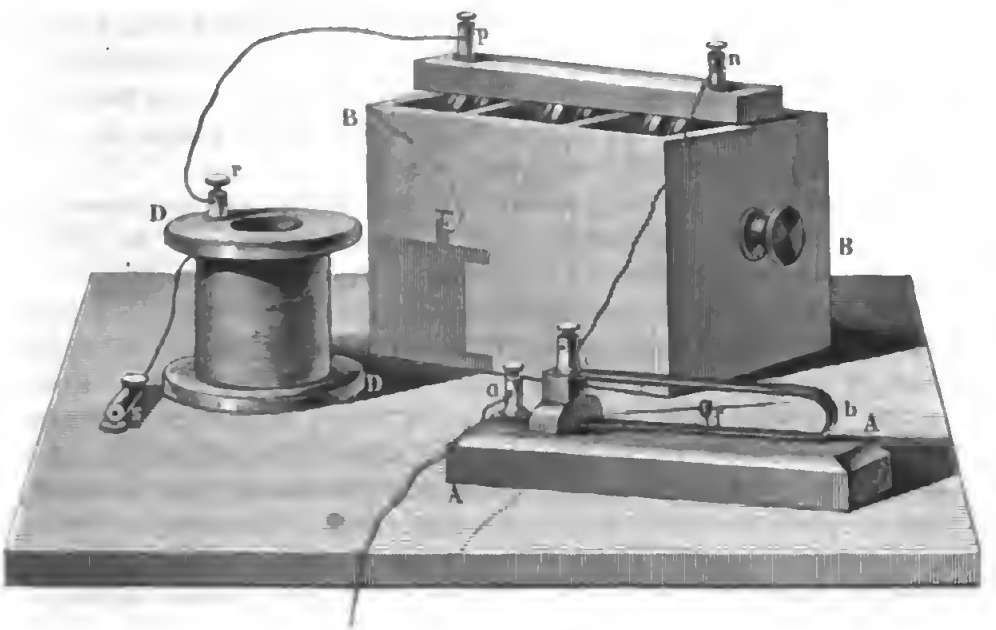
Galvaniſche Prüfung der Blitzableiter. Da bei einem guten 194
Blitzableiter nothwendig von der Spitze bis zum Boden eine vollkommen metalliſche Leitung ſtattfinden muß, ſo iſt es wichtig, ſich auf eine einfache Weiſe davon überzeugen zu können, daß dieſe Bedingung wirklich erfüllt iſt; ein zweckmäßiges Mittel zu einer ſolchen Prüfung liefert uns nun der galvaniſche Strom. Befeſtigt man an der Spitze des Blitzableiters einen mit Seide überſponnenen Kupferdraht, welcher bis zum Boden herunter reicht; verbindet man dann ſein unteres Ende mit dem einen Pol eines einfachen galvaniſchen Plattenpaares, während vom anderen Pole deſſelben ein Leitungsdraht zum unteren Ende des Blitzableiters führt, ſo muß ein galvaniſcher Strom die ganze Kette durchlaufen, wie man erkennt, wenn man ein Galvanometer in dieſen Schließungsbogen einſchaltet.

Zur galvaniſchen Prüfung eines Blitzableiters gehören alſo:

1. ein Galvanometer,
2. eine galvaniſche Säule,
3. ein Leitungsdraht.

Ein gewöhnliches Galvanometer mit aſtatiſchem, an einem Coconfaden hängendem Nadelpaare dürfte zu unſerem Zwecke wohl zu zerbrechlich ſein und außerdem iſt es auch zu empfindlich; zur galvaniſchen Prüfung der Blitzableiter genügt eine einfache, auf einer Stahlſpitze ſpielende Magnetnadel, um welche der Strom durch einen Kupferſtreifen herumgeleitet wird. In Fig. 254 iſt eine ſolche Vorrich-

Fig. 254.



tung bei A in $^1/_3$ der natürlichen Größe dargeſtellt. Auf einem Brettchen iſt ein ungefähr 1 Centimeter breiter Kupferſtreifen befeſtigt, welcher bei b ſo gebogen iſt, daß er zwei horizontale Arme ab und bc bildet, von denen der untere etwas länger iſt. Bei c ſind die beiden Enden durch ein Holzklötzchen getrennt. Bei f iſt auf dem unteren Arme des Kupferſtreifens eine Stahlſpitze eingelaſſen, auf welcher die Magnetnadel ſpielt. Bei a und c ſind Klemmſchrauben angebracht, in welche die Zuleitungsdrähte eingeſchraubt werden.

Als Elektromotoren könnte man Bunſen'ſche oder Daniell'ſche Becher anwenden; allein für ſolche, welche weniger mit der Handhabung dieſer Apparate vertraut ſind, iſt doch eine Wollaſton'ſche Säule von etwa 6 Plattenpaaren vorzuziehen, die, an einem gemeinſchaftlichen Brette befeſtigt, in einen rechteckigen Trog BB eingeſenkt werden können, welcher keine Scheidewände zu enthalten braucht und welcher eine Miſchung von 1 Thl. Schwefelſäure auf 15 bis 20 Thle. Waſſer enthält. An den beiden Polen dieſer Säule ſind die Klemmſchrauben p und n aufgeſetzt.

Der kupferne Leitungsdraht von 100 bis 150 Fuß Länge und $^1/_3$ bis $^1/_2$ Millimeter Dicke iſt mit Seide oder Wolle überſponnen und wird des bequemeren Gebrauchs wegen auf eine hölzerne Spule D aufgewickelt, an welcher ſein inneres Ende befeſtigt und mit einer Klemmſchraube r verſehen iſt. An dem anderen Ende des Drahtes iſt dann gleichfalls eine Klemmſchraube s angelöthet.

Um den Verſuch anzuſtellen, werden die beſprochenen Apparate, wie unſere Figur zeigt, auf einen Tiſch zuſammengeſtellt, welcher in der Nähe der Stelle ſteht, wo der Blitzableiter in den Boden eintritt. Das Galvanometer wird ſo gerichtet, daß die Arme ab und bc der Kupferleitung in der Ebene des magnetiſchen Meridians liegen, daß alſo die Magnetnadel mit der Längsrichtung dieſer Streifen parallel iſt und alſo weder zur Linken noch zur Rechten hervorſchaut. Iſt das Galvanometer ſo aufgeſtellt, ſo wird bei a ein kupferner Leitungsdraht eingeſchraubt, welcher, 8 bis 10 Fuß lang, zum unteren Ende des Blitzableiters geführt und da mehrere Male um die eiſerne Stange deſſelben einige Fuß über dem Boden herumgewunden wird.

Damit zwiſchen den Leitungsſtangen des Blitzableiters und dem darum gewundenen Kupferdraht metalliſche Berührung beſtehe, muß man die eiſerne Stange zuvor etwas anfeilen.

Nun iſt der längere, auf die Holzſpule aufgewundene Kupferdraht in ähnlicher Weiſe an der Saugſtange des Blitzableiters zu befeſtigen. Zu dieſem Zwecke ſteigt der Dachdecker hinauf, feilt die Stange etwas an und windet um die angefeilte Stelle einen 2 bis 3 Fuß langen Kupferdraht mehrmals herum; alsdann wirft er eine Schnur herab, welche an dem freien Ende s des auf der Spule aufgewundenen Kupferdrahtes angebunden wird und vermittelſt deren er dieſes Drahtende in die Höhe zieht, während ſich unten der Drath von der Spule abwickelt. Iſt die Schraubklemme s oben angekommen, ſo befeſtigt der Dachdecker in derſelben das freie Ende des Drahtes, welchen er um die Saugſtange herumgewunden hat, während man unten die Spule mit

dem Rest des Drahtes auf den Tisch stellt. Ist dies geschehen, so wird ein kurzer Leitungsdraht einerseits in die Klemmschraube *r* der Spule und anderseits in die Klemmschraube *p* eingeschraubt, welche den einen Pol der Wollaston'schen Säule bildet. Um die Kette zu schließen, hat man jetzt nur noch nöthig, zwischen den Klemmschrauben *n* der Säule und *c* des Galvanometers einen kurzen Draht einzuschalten. Sobald dies geschehen ist, circulirt der Strom; er geht von dem einen Pol der Säule durch den langen Leitungsdraht hinauf zur Saugstange, von dieser durch die Leitung des Blitzableiters herab und von dem unteren Ende dieser Leitung durch das Galvanometer zum anderen Pol der Säule zurück.

Ist die Leitung ununterbrochen, so daß der Strom wirklich in der angegebenen Weise circuliren kann, so wird augenblicklich die Magnetnadel abgelenkt und aus der Ebene des Kupferbügels *abc* hervortreten; ist jedoch die Leitung unterbrochen, so bleibt die Magnetnadel unbeweglich.

Zeigt sich auf diese Weise eine Unterbrechung der Leitung, so wird der längere Leitungsdraht nach und nach an verschiedenen Stellen der Blitzableiterleitung befestigt, um so die Strecke ausfindig zu machen, auf welcher sich die Unterbrechung befindet.

Wirkungen der Gewitter auf elektrische Telegraphen. Auf 195
die Drahtleitungen eines elektrischen Telegraphen muß die Luftelektricität sowohl, wie die Elektricität der Gewitterwolken in ähnlicher Weise wirken wie auf Blitzableiter; die telegraphischen Leitungsdrähte werden also unter dem angedeuteten Einflusse stets von mehr oder weniger starken Strömen durchlaufen werden.

Um solche Ströme sichtbar zu machen, schaltete Baumgartner einen empfindlichen Multiplicator in eine Telegraphenleitung ein, und fand, daß die Nadel desselben fast nie zur Ruhe kommt, daß also die Leitungsdrähte unter dem Einflusse der Luftelektricität fast beständig elektrisch durchströmt sind.

Unter dem Einflusse von Gewitterwolken werden die in den Telegraphendrähten circulirenden Ströme stark genug, um die zeichengebenden Apparate in Bewegung zu setzen, also Signalglocken läuten zu lassen, den Schreibapparat Morse'scher Apparate klappern zu machen u. s. w. Begreiflicher Weise sind aber diese Zeichen so unregelmäßig, daß der Telegraphist alsbald ihren Ursprung erkennt. Wenn aber auch die Effecte solcher durch Gewitterwolken inducirter Ströme nicht mit telegraphischen Signalen verwechselt werden können, so wirken sie doch im höchsten Grade störend auf letztere ein, und können ein regelmäßiges Telegraphiren oft geradezu unmöglich machen.

Die durch Gewitterwolken in den Telegraphendrähten inducirte Elektricität kann aber unter Umständen auch eine solche Intensität erlangen, daß sie unter lautem Knall, welcher bald dem Knalle einer Peitsche, bald einem Pistolenschuß verglichen wird, zwischen einzelnen Theilen der Apparate in Gestalt kräftiger Funken überspringt. Solche Entladungen, welche namentlich auch dann stattfinden, wenn der Blitz direct in die Leitungsdrähte des Telegraphen ein-

ſchlägt und durch dieſelben bis in ein Telegraphenbüreau geleitet wird, können nicht allein die Apparate mehr oder weniger ſtark beſchädigen, ſondern auch für die gerade anweſenden Beamten gefährlich werden.

Am 19. Juni 1846 ſchlugen in Philadelphia zwiſchen dem Leitungsdrahte, welcher von Außen in das Haus hineingeführt war und demjenigen Drahte, welcher dazu diente, den Apparat mit der Bodenplatte in leitende Verbindung zu ſetzen, und welcher an einer Stelle zufällig dem erſteren bis auf weniger als 1 Zoll genähert war, unter dem Einfluſſe eines benachbarten Gewitters lebhafte Funken über, welche endlich ſo ſtark wurden, daß der Aufſeher für die Sicherheit des Hauſes beſorgt, den einen Draht mit den ſtädtiſchen Gasröhren in Verbindung ſetzte, um ſo die durch die Gewitterwolken inducirte Elektricität in den Boden abzuleiten.

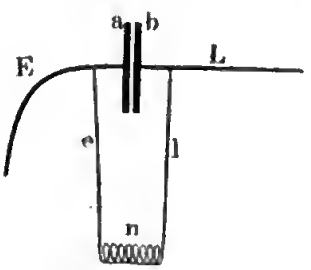
Am 17. Auguſt 1847 pflanzte ſich die Wirkung eines zu Ollmütz losgebrochenen Gewitters bis nach Triebitz, 10 Meilen weit fort, und ein an letzterem Orte mit der Drahtſpannung beſchäftigter Arbeiter erhielt einen ſo ſtarken Schlag, daß er einige Schritte zurücktaumelte.

Sehr häufig werden durch den Blitz die Tragſäulen der Leitungsdrähte zerſplittert, die Leitungsdrähte ſelbſt zerriſſen, und dünnere Dräthe der telegraphiſchen Apparate durch die übermächtigen Ströme geſchmolzen, wodurch denn natürlich die Leitungen unterbrochen und die Apparate untauglich werden.

Eine intereſſante Zuſammenſtellung hierher gehöriger Erſcheinungen findet man in der 2. Auflage von Schellen's »elektromagnetiſcher Telegraph« (Braunſchweig 1854) Seite 211 u. f.

Um die elektriſchen Telegraphen vor den Unfällen zu ſchützen, durch welche ſie von Gewittern bedroht ſind, hat man beſondere telegraphiſche Blitzableiter conſtruirt. Steinheil, von welchem die erſte derartige Vorrichtung herrührt, benutzte den Umſtand, daß die von Gewittern inducirte Elektricität leichter kleine Zwiſchenräume überſpringt, als den langen Weg dünner Drahtwindungen durchläuft, wie dies unter anderm ja auch aus der oben mitgetheilten, zu Philadelphia beobachteten Erſcheinung hervorgeht.

Fig. 255.



Das Princip der Steinheil'ſchen Schutzapparate, welches mit mannigfachen Modificationen faſt allgemeine Anwendung gefunden hat, wird durch die ſchematiſche Fig. 255 erläutert. Es ſei L der von der nächſten Station kommende Leitungsdraht, E der Leitungsdraht, welcher zur Bodenplatte führt; der eine dieſer Drähte endet mit einer Metallplatte a, der andere in der Metallplatte b, und dieſe beiden Platten ſind in paralleler Stellung einander ganz nahe gegenübergeſtellt, ohne ſich jedoch metalliſch zu berühren. Bei den Steinheil'ſchen Blitzableitern wird die Iſolation der beiden Platten durch ein zwiſchengelegtes Stück Seidenzeug bewerkſtelligt. — Die Leitungsdrähte E und L ſind durch die Drahtlei-

tungen *e* und *l* mit der elektromagnetiſchen Batterie und dem zeichengebenden Apparat *n* in leitende Verbindung gebracht.

Während nun der Strom einer galvaniſchen Batterie, welcher von der benachbarten Station kommt, den Zwiſchenraum zwiſchen den Platten *a* und *b* nicht überſpringen kann, ſondern die Verbindungen des zeichengebenden Apparates regelmäßig durchläuft, ſpringt umgekehrt die durch Gewitter inducirte Elektricität zwiſchen den Platten *a* und *b* über, ohne zu den Windungen des zeichengebenden Apparates *n* zu gelangen.

Ein anderes Mittel, die elektriſchen Telegraphen vor den nachtheiligen Wirkungen der Gewitter zu ſchützen beſteht darin, daß man nach Berguet's Vorſchlag den ſtärkeren Leitungsdraht nur bis auf eine Entfernung von 15 bis 18 Fuß an die Telegraphenſtation heranführt, und die Apparate der Station mit dieſem Leitungsdraht nur durch ganz dünne Drähte in Verbindung ſetzt, welche abſchmelzen, wenn ſtärkere elektriſche Entladungen in dem Leitungsdraht ſtattfinden.

Elektricität der Gewitterwolken. Wenn man die Elektricität un- 196
terſucht, welche ſich während eines Gewitters in dem erſten Conductor *h* des Apparates Fig. 252 Seite 474 oder eines ähnlichen anſammelt und zum Funkenzieher überſpringt, ſo findet man, daß es bald poſitive, bald negative Elektricität iſt, daß alſo die Gewitterwolken bald mit poſitiver, bald mit negativer Elektricität geladen ſind. Croſſe beſchreibt die Beobachtungen und Verſuche, welche er an ſeinem Apparate während des Verlaufs von Gewittern angeſtellt hat, ungefähr in folgender Weiſe:

Wenn ſich eine Gewitterwolke den Saugſpitzen des Sammelapparates nähert, ſo divergiren die am erſten Conductor aufgehängten Hollundermarkspendel entweder mit poſitiver oder mit negativer Elektricität; und wenn die Gränze der Wolke vertical über den Saugſpitzen angelangt iſt, ſo ſchlagen langſam Funken zwiſchen dem erſten Conductor und dem Funkenzieher über. Nach einiger Zeit, während welcher etwa 9 bis 10 Funken in der Minute überſchlagen, folgt eine kurze Pauſe, auf welche dann das Ueberſchlagen der Funken von Neuem beginnt, aber nun mit entgegengeſetzter Elektricität, ſo daß, wenn Anfangs negative Elektricität aus dem erſten Conductor hervorbrach, nun eine Reihe poſitiver Entladungen folgt, was anzeigt, daß zwei entgegengeſetzte elektriſche Zonen der Wolke über den Beobachtungsort hinweggezogen ſind. Auf das erſte folgt ein zweites Zonenpaar, welches ſchon ein häufigeres Ueberſchlagen von Funken bewirkt als das erſte. So dauert dann der Wechſel der Elektricitäten eine Zeitlang fort, indem jeder Uebergang in die entgegengeſetzte Elektricität durch eine kurze Pauſe markirt wird; aber immer raſcher ſchlagen die Funken über, bis ſie endlich einen regelmäßigen Feuerſtrom bilden, wenn die Mitte der Gewitterwolke im Zenith ſteht und das Gewitter in ſeiner vollen Heftigkeit wüthet. Croſſe verband während eines Gewitters mit dem erſten Conductor ſeiner Vorrichtung eine elektriſche Batterie von 75 Quadratfuß innerer Belegung. Bei voller Ladung konnte mit dieſer Batterie ein 30 Fuß

langer Eiſendraht von $^1/_{270}$ Zoll Durchmeſſer geſchmolzen werden. Um die Batterie zu ſchonen, näherte Croſſe eine mit der äußeren Belegung in Verbindung ſtehende Meſſingkugel der Kugel der inneren Belegung ſo weit, daß eine Selbſtentladung erfolgte, wenn die Batterie ungefähr $^3/_4$ ihrer vollen Ladung enthielt. Unter dieſen Umſtänden fand ein faſt continuirlicher Strom von Entladungen Statt, wenn gerade die Mitte der Gewitterwolke über dem Beobachtungslocale hinzog.

Der Wechſel der Elektricitäten dauert fort, während die zweite Hälfte der Wolke vorüberzieht; allmälig aber nimmt die Intenſität ab, wie ſie vorher zugenommen hatte.

Eine Gewitterwolke iſt alſo nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach mit derſelben Elektricität geladen, ſondern ſie beſteht aus Zonen, welche abwechſelnd mit entgegengeſetzten Elektricitäten geladen ſind, und zwar iſt dieſe Ladung für die Mitte der Wolke am ſtärkſten und nimmt dann nach den Gränzen hin ab.

197 **Aeusserer Charakter der Gewitterwolken.** Der Bildung der Gewitter geht meiſt eine ungewöhnliche Schwüle voran. In der mit Waſſerdämpfen geſättigten Atmoſphäre beginnen ſich einzelne Wolken zu bilden, welche raſch an Umfang und Dichtigkeit zunehmen und deren äußeres Anſehen ſie ſchon als Gewitterwolken verkündigt. Von der Ferne geſehen, erſcheinen ſie als dunkle, ſchwarzgraue Wolkenmaſſen, welche, auf dem Horizonte aufliegend, an ihrer oberen Gränze in eine Maſſe aufgethürmter Haufwolken übergehen, welche, noch von der Sonne beſchienen, durch ihre blendende Weiße nur um ſo mehr gegen die Dunkelheit der tieferen Wolkenſchichten contraſtiren. In dieſen aufgethürmten Wolkenmaſſen bemerkt man gewiſſermaßen ein gewaltiges Aufſchwellen, eine raſche Formveränderung der kugeligen Wolkengipfel, während die ganze Wolkenmaſſe doch nur langſam vorrückt.

Allmälig nähert ſich die Gewitterwolke mehr dem Zenith, und wir ſehen nur noch die untere Seite derſelben, welche vielfach zerriſſen erſcheint. Die herabhängenden Wolkenfetzen ſind in fortwährender unregelmäßiger Bewegung und zeigen oft eine eigenthümliche blaugraue Färbung, welche man als Vorboten von Hagel betrachtet. Eben ſo ſieht man unter der großen Gewitterwolke oft einzelne iſolirte Wölkchen in unregelmäßiger Bewegung nach verſchiedenen Richtungen hinziehen.

Was die Höhe der Gewitterwolken über der Erdoberfläche betrifft, ſo iſt dieſe in gebirgigen Gegenden am leichteſten zu beſtimmen, da höhere Berge häufig in die Region der Gewitterwolken hinein-, ja über dieſelbe hinausragen, ſo daß man ſich auf dem Gipfel der Berge im vollen Sonnenſchein befindet und den reinen blauen Himmel über ſich hat, während Gewitterwolken mit Blitz und Donner die Thäler bedecken. In der Ebene läßt ſich die Höhe der Gewitterwolken ermitteln, wenn man die Winkelhöhe der Stelle mißt, an welcher ein Blitz erſcheint, und dann die Zeit beobachtet, welche zwiſchen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners verſtreicht.

Aus ſolchen Beobachtungen hat man ermittelt, daß ſich die Gewitterwolken

oft bis zu einer Höhe von 700 bis 1000 Fuß herabsenken, während die mittlere Höhe derselben 3000 bis 4000 Fuß zu sein scheint. Aber auch in sehr großen Höhen finden Gewitter Statt, denn es fehlt uns nicht an Berichten, daß Reisende auf den Gipfeln der höchsten Berge noch Gewitter über sich beobachtet haben; so Sauſſure auf dem Cöl du Géant in einer Höhe von 10,500 und Bouguer auf dem Pichincha in einer Höhe von 14,600 Fuß.

198 **Der Blitz und das Wetterleuchten.** Die Blitze sind elektrische Entladungen, welche zwischen entgegengesetzt elektrischen Wolken und Wolkenzonen oder auch zwischen einer elektrischen Wolke und einem Punkte der Erdoberfläche stattfinden, in welchem durch Vertheilung die entgegengesetzte Elektricität angehäuft ist.

Die Blitze erscheinen uns in sehr verschiedenen Gestalten, unter denen besonders zwei Formen als die gewöhnlichsten hervorzuheben sind; entweder erscheint nämlich der Blitz als ein gleichförmiger Lichtschimmer, welcher plötzlich die Wolken durchzuckt, große Flächen derselben erleuchtet und ihre Umrisse für einen Moment sichtbar macht, oder er durchfurcht in Form einer scharf begränzten blendend hellen Zickzacklinie den Himmel.

Die erstere dieser beiden Formen ist die häufigste. Die Zickzackblitze schlagen entweder von einer Wolkengruppe zur anderen über oder häufig in nahezu verticaler Richtung von der Wolke zur Erde, in welchem Falle man sagt, daß es eingeschlagen habe.

Die Blitze sind oft Meilen lang, wie man am besten übersehen kann, wenn man auf einem hohen Berge unter sich ein Gewitter in der Tiefe zu beobachten Gelegenheit hat. In solchen Fällen sieht man auch, daß häufig Blitze aus den Gewitterwolken nach oben schlagen. Im Jahre 1700 tödtete ein von unten kommender Blitzschlag in Steyermark sieben Personen, welche sich in einer auf einem hohen Berge gelegenen Capelle befanden. Während in der Tiefe das Gewitter tobte, schien oben die Sonne hell am blauen Himmel und Niemand ahnete eine Gefahr.

Das Wetterleuchten, welches man des Abends oder während der Nacht selbst bei ganz heiterem Himmel sieht, ohne daß man irgend ein Donnern hört, ist wohl nur der Widerschein sehr entfernter Blitze. In der Nacht vom 10. auf den 11. Juli 1783 bemerkte Sauſſure auf der Grimsel in der Richtung gegen Genf am Horizonte einige Wolkenstreifen, in welchen er Wetterleuchten wahrnahm, ohne daß man das mindeste Geräusch hören konnte. In derselben Nacht, zu derselben Stunde wurde Genf von einem furchtbaren Gewitter heimgesucht.

Am Abend des 31. Juli 1813 beobachtete Howard zu Tottenham in der Nähe von London bei vollkommen wolkenfreiem Himmel starkes Welterleuchten gegen Südosten hin und erfuhr später, daß zu derselben Zeit ein heftiges Gewitter zwischen Dünkirchen und Calais, also in einer Entfernung von ungefähr 25 Meilen, stattgefunden hatte.

Daß der Widerschein eines Blitzes auf solche Entfernungen hin wahrnehm-

bar sein kann, geht daraus hervor, daß, als Zach im Jahre 1803 auf dem Brocken zum Zweck von Längenbestimmungen Blitzfeuer von 7 Unzen Pulver anzündete, man den Widerschein bis auf eine Entfernung von nahe 40 Meilen, also an Orten wahrnehmen konnte, von welchen aus wegen der Krümmung der Erde der Gipfel des Brockens selbst gar nicht mehr sichtbar sein konnte.

199 **Der Donner** entsteht ohne Zweifel durch die Vibrationen der beim Ueberschlagen des Blitzes gewaltsam erschütterten Luft. Blitz und Donner entstehen gleichzeitig, und wenn man den Donner später hört, als man den Blitz sieht, so liegt dies nur darin, daß sich der Schall ungleich langsamer fortpflanzt als das Licht.

Aus dem Zeitintervall, welches zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners vergeht, kann man auf die Entfernung des Blitzes vom Beobachtungsorte schließen.

Der Blitz ist, in runder Zahl ausgedrückt, so vielmal 1000 Fuß vom Beobachter entfernt, als Secunden zwischen der Wahrnehmung des Donners und des Blitzes verstreichen.

Der Donner ist nicht auf weithin hörbar; das größte Zeitintervall, welches man bis jetzt zwischen Blitz und Donner beobachtet hat, beträgt 72 Secunden, was auf eine Entfernung von nicht ganz 4 geographischen Meilen schließen läßt. Daß der Donner schon in so geringer Entfernung aufhört, wahrnehmbar zu sein, ist um so auffallender, da man Kanonenschüsse viel weiter hört. Bei der Belagerung von Genua durch die Franzosen hörte man den Kanonendonner zu Livorno, in einer Entfernung von 20 Meilen.

Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet, als das Licht, da er in einer Secunde nur 340 Meter zurücklegt, so sieht man den Blitz eher, als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sei 3400 Meter lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes 10 Secunden später ankommen, als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer dauerndes Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

200 **Wirkungen des Blitzschlages.** Denken wir uns, daß eine etwa positive Gewitterwolke über dem Meere oder über einem See schwebe, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser wird zurückgestoßen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend sein, daß sie eine merkliche Erhebung des Wassers bewirkt;

es wird ſich eine große Woge, ein Waſſerberg bilden können, welcher ſo lange bleibt, als dieſer elektriſche Zuſtand dauert, der auf dreierlei Weiſe endigen kann. 1) Wenn ſich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne daß ein Entladungsſchlag erfolgt, ſo wird ſich auch der natürlich-elektriſche Zuſtand des Waſſers allmälig wieder herſtellen. 2) Wenn der Blitz zwiſchen einer Gewitterwolke und einer anderen, oder zwiſchen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überſchlägt, wenn alſo die Wolke plötzlich entladen wird, ſo muß die an der Oberfläche des Waſſerberges angehäufte Elektricität auch raſch wieder ab-, die bisher abgeſtoßene raſch wieder zuſtrömen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückſchlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke ſich nahe genug befindet und wenn ſie ſtark genug mit Elektricität geladen iſt, ſo ſchlägt der Blitz auf den Waſſerberg über. Dieſer directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein ſtärkeres Aufwallen des Waſſers hervor als der Rückſchlag. Ein ſolcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechaniſche Wirkung Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine ſichtbaren Wirkungen hervor; es ſcheint jedoch, daß ſolche Störungen des elektriſchen Gleichgewichts durch organiſche Weſen, und namentlich durch nervenkranke Perſonen, empfunden werden können.

Der Rückſchlag iſt ſtets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beiſpiel, daß er eine Entzündung veranlaßt habe, dagegen fehlt es nicht an Beiſpielen, daß Menſchen und Thiere durch den Rückſchlag getödtet worden ſind; man findet an ihnen in dieſem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandſpuren.

Die furchtbarſten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einſchlägt, ſo bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was ſich über die Ebene erhebt, iſt vorzugsweiſe dem Blitzſchlage ausgeſetzt; daher kommt es, daß ſo oft Thiere mitten in der Ebene erſchlagen werden; unter ſonſt gleichen Umſtänden iſt man jedoch auf einem nichtleitenden Boden ſicherer, als auf einem gutleitenden.

Bäume ſind ſchon durch Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, ſo findet in den Bäumen eine ſtarke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb ſagt man mit Recht, daß Bäume den Blitz anziehen; man darf daher während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einſam ſtehenden Bäumen, ja ſelbſt unter einſam in der Ebene ſtehenden Sträuchen keinen Schutz ſuchen.

Gebäude ſind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zuſammengeſetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieſer Subſtanzen iſt auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieſelben ſehr verſchieden. Wenn der Blitz einſchlägt, ſo trifft er vorzugsweiſe die beſſeren Leiter, mögen ſie nun frei oder durch ſchlechtere Leiter eingehüllt ſein; die vertheilende Kraft der atmoſphäriſchen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeſchlagenen Nagel eben ſo gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechaniſchen Wirkungen des Blitzes ſind in der Regel ſehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einſchlägt, ſo werden die Möbeln umgeſtürzt und zertrümmert, Metallſtücke werden herausgeriſſen und fortgeſchleudert. Bäume werden vom Blitz geſpalten und zerſplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeſchälte Rinde und die ausgeriſſenen Späne findet man weit weggeſchleudert, und am Fuße des Baumes ſieht man oft ein Loch, durch welches das elektriſche Fluidum ſich in den Boden verbreitete.

Die phyſikaliſchen Wirkungen des Blitzes beweiſen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, ſo findet eine Verkohlung, meiſtens ſogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch ſeltener Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz ſtark erhitzt, geſchmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzſchläge bringen auf hohen Bergen ſichtbare Spuren von Schmelzung hervor; Sauſſure bemerkte ſie auf dem Gipfel des Montblanc in Hornblendeſchiefer, Ramond auf dem Gipfel des Montperdu in Glimmerſchiefer und auf dem Puy de Dome in Porphyr; endlich ſahen Humboldt und Bonpland auf dem Gipfel des Vulcans von Toluca auf einer Ausdehnung von mehr als zwei Quadratfuß hin die Oberfläche der Felſen verglaſt; an einigen Stellen fanden ſie ſogar Löcher, welche innen mit einer glaſigen Kruſte überzogen waren.

Ein intereſſantes Beiſpiel von Schmelzung durch den Blitz erzählt uns Withering (Phil. Transact. 1790). Am 3. September 1789 ſchlug der Blitz in eine Eiche im Park des Grafen von Aylesford ein und tödtete einen Menſchen, welcher unter dieſem Baume Schutz geſucht hatte. Der Stock, welchen der Unglückliche trug, ſcheint beſonders den Blitz geleitet zu haben, weil ſich da, wo der Stock auf den Boden aufgeſtützt war, ein Loch von 5 Zoll Tiefe und $2^1/_2$ Zoll Durchmeſſer fand. Das Loch wurde alsbald von Withering unterſucht, und es fanden ſich in demſelben nur einige verbrannte Wurzelfaſern. Der Lord Aylesford wollte nun an dieſer Stelle eine Pyramide mit einer Inſchrift errichten laſſen, welche davor warnen ſollte, bei Gewittern unter Bäumen Schutz zu ſuchen. Beim Graben des Fundaments fand man den Boden in der Richtung des Loches bis zu einer Tiefe von 10 Zoll geſchwärzt, und 2 Zoll tiefer fand man in dem quarzigen Boden deutliche Spuren von Schmelzung. Unter Anderem fand ſich ein Quarzſtück, deſſen Kanten und Ecken vollkommen geſchmolzen waren, und eine durch die Hitze zuſammengebackene Sandmaſſe, in welcher ſich eine Höhlung befand, in der die Schmelzung ſo vollkommen war, daß die geſchmolzene Quarzmaſſe an den Seiten der Höhlung heruntergefloſſen war.

Endlich müſſen hier noch die ſogenannten Blitzröhren erwähnt werden, welche man in den ſandigen Ebenen von Schleſien, von Oſtpreußen, von Cumberland und in Braſilien, nahe bei Bahia, findet. Dieſe Röhren ſind oft 8 bis 10 Meter lang, ihr äußerer Durchmeſſer beträgt gewöhnlich 5 Centimeter, ihr innerer einige Millimeter; die innere Fläche iſt vollkommen verglaſt, die äußere iſt rauh; ſie ſieht aus wie eine mit zuſammengebackenen Sandkörnern bedeckte Kruſte; man findet ſie bald in verticaler, bald in ſchräger Richtung im Sande;

am unteren Ende verzweigen ſie ſich gewöhnlich und werden nach und nach ſpitzer. Fiedler, welcher über dieſen Gegenſtand viele intereſſante Beobachtungen gemacht hat (Gilbert's Annal. Bd. LV. und LXI.), bemerkt, daß ſich in einer gewiſſen Tiefe unter der Oberfläche der Sandebenen Waſſermulden befinden, und er betrachtet die Blitzröhren dadurch entſtanden, daß der Blitz durch den Sand nach dem Waſſer durchſchlägt.

Am 9. Juli 1849 entlud ſich über Baſel ein heftiges Gewitter, welches dreimal einſchlug. Einer dieſer Blitzſchläge folgte dem Blitzableiter eines Hauſes bis in den Boden, ſprang aber von da auf eine 3 Fuß vom unteren Ende der metalliſchen Leitung vorübergehende eiſerne Waſſerleitung über. Die einzelnen Röhrenſtücke dieſer Waſſerleitung waren mit Pech in einander gefügt, und gerade an dieſen Stellen, wo alſo die metalliſche Leitung unterbrochen war, wurden viele Röhrenſtücke bis auf eine Entfernung von mehr als $^1/_6$ Meile durch das Ueberſpringen des elektriſchen Fluidum zerſprengt. Gleich nach jenem Blitzſchlage hörten deshalb auch alle Brunnen des entſprechenden Stadtviertels auf zu fließen.

Daß der Blitzſchlag Menſchen und Thiere tödten kann, iſt bekannt; als Beiſpiele führe ich hier einige der Fälle an, welche Arago in ſeiner ausgezeichneten Abhandlung „sur le tonnère“ Seite 475 zuſammengeſtellt hat. (Annuaire du bureau des longitudes pour 1838.)

In der Nacht vom 26. auf den 27. Juli 1759 ſchlug der Blitz in das Theater der Stadt Feltre ein, tödtete viele Zuſchauer und verwundete faſt alle übrigen.

Im Jahre 1808 ſchlug der Blitz in ein Wirthshaus des Fleckens Kappel im Breisgau und tödtete 4 Perſonen.

Am 20. März 1784 ſchlug der Blitz in den Saal des Theaters zu Mantua, wo 400 Perſonen verſammelt waren; er tödtete 2 derſelben und verwundete 10.

Am 11. Juli 1819 ſchlug der Blitz während des Gottesdienſtes in die Kirche von Chateauneuf-les-Mouſtiers im Arrondiſſement von Digne (Departement der Niederalpen) ein, tödtete 9 Perſonen und verletzte deren 24 mehr oder weniger.

Am 10. Juli 1855 entlud ſich Morgens zwiſchen 7 und 9 Uhr über der ganzen badiſchen Rheinebene und einem Theile des Schwarzwaldes ein Gewitter, welches an weit auseinander liegenden Orten mehrere Menſchen tödtete. Zu Thunſel, oberhalb Freiburg, erſchlug nämlich der Blitz einen aus dem Felde heimkehrenden Ackerknecht ſammt ſeinen beiden Pferden. Im Amte Durlach ſuchten vier Perſonen unter einem 40 Fuß hohen Birnbaum Schutz gegen den Regen; ein Blitzſchlag, welcher den Baum traf, tödtete zwei derſelben, während die beiden anderen gelähmt wurden. In der Nähe von Bruchſal endlich ſchlug während deſſelben Gewitters der Blitz in eine Torfhütte, in welche ſich viele Arbeiter geflüchtet hatten, verletzte mehrere und tödtete zwei derſelben.

Im Ganzen iſt aber doch die Summe der durch den Blitz erſchlagenen Perſonen ſo gering, daß man ſolche Fälle immerhin zu den Seltenheiten zählen kann, obgleich das Einſchlagen des Blitzes in Gebäude ziemlich häufig vorkommt.

So ſchlug in der einzigen Nacht vom 14. auf den 15. April 1718 der Blitz längs der Küſte der Bretagne in 24 Kirchthürme und am 11. Januar 1815 traf der Blitz in den Niederlanden 12 Thürme.

Ausgezeichnete und hohe Gebäude werden ſehr häufig durch den Blitz heimgeſucht.

Im Jahre 1417 ſchlug der Blitz in den Glockenthurm von St. Marcus in Venedig und zündete das Gebälk an, welches vollſtändig verbrannte; das wiederhergeſtellte Dach wurde im Jahre 1489 durch einen Blitzſchlag abermals in Aſche gelegt. Die ſpäter von Stein erbaute Pyramide wurde am 23. April 1745 durch einen heftigen Blitzſchlag ſo verwüſtet, daß die Reparaturen 8000 Ducaten koſteten.

Im Juli 1759 entzündete der Blitz das Dach des Straßburger Münſters, und im October des folgenden Jahres traf ein Blitzſtrahl den Thurm deſſelben

Fig. 256.

und zerſchmetterte die Pfeiler, welche die ſogenannte Laterne tragen, dermaßen, daß die Reparatur über 100,000 Franken koſtete.

Auch der Thurm des Freiburger Münſters iſt öfters vom Blitz getroffen worden; ſo richtete z. B. ein Blitzſchlag, welcher am 28. April 1561 die herrliche Pyramide, Fig. 256, traf, ſo bedeutenden Schaden an, daß man zur Wiederherſtellung derſelben Werkmeiſter von Straßburg, Colmar und Ettlingen kommen ließ und die benachbarten Stifter beiſteuerten, um die Koſten dieſer Reparatur zu decken.

Am 2. Januar 1819 traf ein Blitzſtrahl den Münſterthurm und ging, nachdem er die in der Höhe von *b*, Fig. 256, hängenden Glocken erreicht hatte, ohne merklichen Schaden zu thun, auf der Nordſeite des Thurms an dem Draht herab, welcher zu der Signalſchelle in der Wohnung des Thurmwächters führt. Ein Knabe, welcher gerade unter dem Handgriff dieſes Drahtes ſich befand, wurde getödtet.

Am 10. Januar 1843 zwiſchen 3 und 4 Uhr Nachmittags nahm ein Blitzſchlag wieder faſt denſelben Weg, wie im Jahr 1819. Von der Pyramide, an welcher nur einige Steine beſchädigt wurden, trat er in die Schneckenſtiege *ab*, Fig. 256, welche das nordöſtliche Eck des Thurmes bildet; die eiſernen Klammern, welche hier zur beſſeren Verbindung der einzelnen Steine mittelſt Blei eingelaſſen ſind, beſtimmten den Weg; von einer ſolchen Klammer zur nächſten überſpringend, wurde ein Theil des zur Befeſtigung dienenden Bleies geſchmolzen, mit fortgeriſſen und auf dem Zwiſchenraum zwiſchen je zwei Klammern wurde auf der Oberfläche des Sandſteines ein Bleiglas erzeugt, welches in Form kleiner Glaskügelchen einen fingerbreiten weißen Streifen bildete. Durch allmälige Verwitterung des Bleiglaſes iſt dieſer Streifen jetzt wieder verſchwunden. Aus der Schneckenſtiege nahm der Blitz abermals ſeinen Weg über die Glocken zu dem ſchon erwähnten ungefähr 1‴ dicken eiſernen Schellendraht, welcher diesmal theilweiſe geſchmolzen und zerriſſen wurde.

Im Jahre 1844 ſtellte Frick den Blitzableiter am Thurme her, und zwar auf folgende ebenſo einfache als zweckmäßige Weiſe: Von dem metallenen Stern, welcher als Wetterfahne dienend ohnehin ſchon die Spitze bildet, wurde ein aus 6 ungefähr 2^{mm} dicken Kupferdrähten beſtehendes Drahtſeil bis in den Boden herabgeführt und mit dieſem durch 5^{mm} dicke Kupferdrähte alle bedeutenderen Metallmaſſen, wie die Glocken, die Eiſenſtangen, welche die Pyramiden halten, u. ſ. w., in Verbindung gebracht.

Dieſe Vorrichtung hat ſich trefflich bewährt, indem ein Blitzſtrahl, welcher am 28. April 1847 den Thurm traf, an dem erwähnten Drahte bis zum Boden herabfuhr, ohne daß er auch nur die mindeſte Verletzung hervorgebracht hätte.

Am 18. Auguſt 1769 ſchlug der Blitz in einen Pulverthurm zu Brescia; 200,000 Pfund Pulver wurden entzündet und dadurch eine ſo furchtbare Exploſion verurſacht, daß $^1/_3$ der Häuſer dieſer großen und ſchönen Stadt umgeſtürzt und die übrigen bedeutend beſchädigt wurden. 3000 Menſchen verloren bei dieſer Kataſtrophe das Leben.

Im Jahre 1785 wurde ein Pulvermagazin zu Tanger, im Jahre 1807

ein solches zu Luxemburg und im Jahre 1808 eines im Fort St. Andrea del Lido zu Venedig durch den Blitz entzündet und in die Luft gesprengt.

Am 5. November 1755 schlug der Blitz in ein Pulvermagazin in der Nähe von Rouen, spaltete einen Balken des Daches und zersplitterte zwei Pulverfässer, ohne das Pulver zu entzünden.

Auf Seite 417, 418 und 419, sowie auf Seite 485 bis 488 der erwähnten Abhandlung führt Arago eine Reihe von Fällen an, in welchen der Blitz in Schiffe eingeschlagen hat. Aus dem Allen ergiebt sich, wie nothwendig es ist, Schiffe sowohl wie Gebäude durch Blitzableiter zu schützen.

Die Blitzschläge sind zu keiner Zeit gefährlicher, als in den kälteren Jahreszeiten.

Arago fand diese allgemein verbreitete Ansicht bestätigt, als er bei seiner Lectüre alle Blitzschläge notirte, welche an bestimmt bezeichneten Tagen Schiffe getroffen hatten, und nachher die so zusammengetragenen Fälle nach Monaten ordnete. Er nahm in diesem Verzeichniß (Seite 417 bis 419 der Abhandlung) nur solche Fälle auf, welche sich auf der nördlichen Hemisphäre außerhalb der Wendekreise ereigneten.

Die Zahl der mit genügendem Datum und mit bestimmter Ortsbestimmung versehenen auf Schiffe gefallenen Blitzschläge, welche er auffinden konnte, war im

Januar	5,
Februar	4,
März	1,
April	5,
Mai	0,
Juni	0,
Juli	2,
August	1,
September	2,
October	2,
November	4,
December	4.

Bedenkt man nun, daß die Gewitter im Sommer weit häufiger sind als im Winter, so unterliegt es keinem Zweifel, daß die Wintergewitter, auf dem Meere wenigstens, weit gefährlicher sind als die Sommergewitter, was wohl damit zusammenhängen mag, daß die Gewitterwolken im Winter weit tiefer ziehen als im Sommer.

Auch die oben angeführten Blitzschläge, welche den Thurm des Freiburger Münsters trafen, fanden in den Monaten Januar und April Statt.

201 **Geographische Verbreitung der Gewitter.** Obgleich in dieser Beziehung das Beobachtungsmaterial noch sehr mangelhaft ist, so unterliegt es doch keinem Zweifel, daß die Gewitter in der heißen Zone im Allgemeinen nicht allein heftiger, sondern auch häufiger sind als in der gemäßigten, wie man

dies auch aus folgender Tabelle ersieht, welche nach dem in Arago's Abhandlung zusammengetragenen Material zusammengestellt ist.

Beobachtungsort.	Durchschnittszahl der Gewitter in einem Jahr.	Zahl der Beobachtungsjahre.	Kleinste Zahl der Gewitter in einem Jahr.	Größte Zahl der Gewitter in einem Jahr.
Calcutta	60	1		
Rio Janeiro	50,7	6	38	77
Martinique	39			
Abyssinien	38	1		
Guadeloupe	37			
Buenos-Ayres	22,6	7		
Smyrna	19	1		
Berlin	18,4	15	11	30
Padua	17,5	4		
Straßburg	17	20	6	21
Mastricht	16,2	11	8	27
Tübingen	14	9		
Paris	13,8	51	6	25
Leiden	13,5	29	5	17
Athen	11	3	7	18
Petersburg	9,2	11		
London	8,5	13	5	13
Peking	5,8	6	3	14
Cairo	3,5	2	3	4

Zu Stockholm giebt es durchschnittlich 9, zu Bergen 6 Gewitter im Jahre.

Obgleich nun gerade innerhalb der Tropen und in der Nähe der Wendekreise im Allgemeinen die Gewitter häufiger sind, so findet man doch warme Länder, in welchen die Gewitter selten sind, wie Aegypten, oder wo sie ganz fehlen, wie in Unter-Peru. Die Bewohner von Lima kennen weder Donner noch Blitz.

Ueber die gemäßigte Zone hinaus werden die Gewitter immer seltener, je mehr man sich den Polen nähert. Auf seinen zahlreichen Reisen nach den Polarmeeren beobachtete Scoresby über dem 65° n. B. hinaus nur zweimal Donner und Blitz, und über dem 75° n. B. hinaus ist dieses Phänomen noch nie wahrgenommen worden.

Was die Vertheilung der Gewitter auf die verschiedenen Jahreszeiten be-

trifft, ſo finden ſie in der heißen Zone vorzugsweiſe zu Anfang und zu Ende der Regenzeit Statt.

Im weſtlichen Europa fällt ungefähr die Hälfte aller Gewitter auf den Sommer, $^1/_{10}$ auf den Winter. In Deutſchland und der Schweiz ſind die Gewitter im Sommer noch zahlreicher, die Wintergewitter aber ſeltener; noch weiter im Inneren von Europa giebt es gar keine Wintergewitter mehr. Auf der Weſtküſte von Norwegen, in Bergen, wo im Laufe eines Jahres im Durchſchnitt 6 Gewitter ſtattfinden, kommen dagegen 2 bis 3 auf den Winter und nur 1 bis 2 auf den Sommer. Auch an den Weſtküſten von Nordamerika und an den Oſtküſten des Adriatiſchen Meeres ſind die Wintergewitter vorherrſchend.

202 **Beobachtung ſchwacher Luftelektricität.** Es iſt in den vorigen Paragraphen nur von der Elektricität der Gewitterwolken und von den elektriſchen Erſcheinungen die Rede geweſen, welche man an dem Conductor der Sammelapparate während eines Gewitters beobachtet. Bringt man aber mit dem Sammelapparate hinlänglich empfindliche Elektrometer in Verbindung, ſo zeigen dieſe faſt immer, ſelbſt bei ganz heiterem Himmel, bald mehr bald weniger ſtarke elektriſche Ladungen.

Volta wandte zur Meſſung der atmoſphäriſchen Elektricität das von ihm conſtruirte Strohhalmelektrometer an, welches zwar weniger empfindlich als das Goldblattelektrometer, aber mit einem Gradbogen verſehen mehr für Meſſungen geeignet iſt.

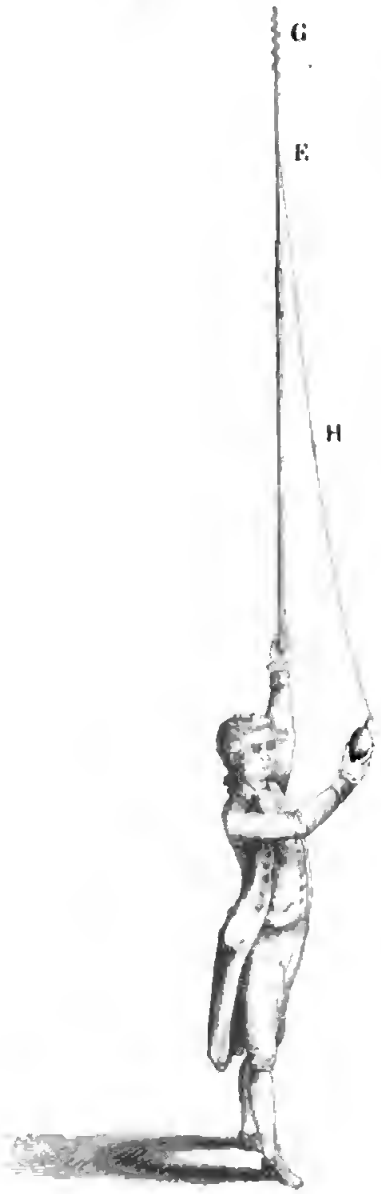
Wird die Ladung eines ſolchen Elektrometers ſo ſtark, daß die Pendel über 30° divergiren, ſo ſtrömt die Elektricität leicht aus; zur Meſſung ſtärkerer Elektricität iſt deshalb ein zweites ähnlich conſtruirtes Elektrometer nöthig, deſſen Pendel ſtatt aus Strohhalmen aus dünnen Holzſtäbchen beſtehen. Volta conſtruirte ein ſolches, welches gerade 1° Divergenz gab, während bei gleicher Ladung ſein Strohhalmelektrometer bis zu 5° divergirte. Eine Divergenz von 25° am Holzpendel-Elektrometer entſprach alſo 125 Graden des Strohhalmelektrometers.

Später wurden auch das Bohnenberger'ſche Säulenelektroſkop und die Coulomb'ſche Drehwage zur Unterſuchung der Luftelektricität angewendet, in neuerer Zeit dient aber zu dieſem Zwecke vorzugsweiſe das Dellmann'ſche Elektrometer und einige andere nach dem Princip der Drehwage conſtruirte Apparate. In Betreff der näheren Beſchreibung dieſer Inſtrumente, ihrer Anwendung und Graduirung, muß ich auf die entſprechenden Aufſätze von Romershauſen, Dellmann und Lamont verweiſen, welche ſich in Poggendorff's Annalen und zwar in den Bänden LXIX, Seite 71, LXXXVIII, Seite 571, LXXXVI, Seite 524, LXXXIX, Seite 258, LXXXV, Seite 494 und in Lamont's »Beſchreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Inſtrumente und Apparate, München 1851,« Seite 53 finden.

Statt das Elektrometer unmittelbar mit der Saugvorrichtung in Verbindung zu bringen, verfuhr Volta öfters auch ſo, daß er eine kleine dünnglaſige Leidner Flaſche von 10 bis 12 Quadratzoll äußerer Belegung mit einer Saug-

vorrichtung in Verbindung brachte und dann die Ladung der kleinen Flaſche an einem Elektrometer prüfte. Fig. 257 erläutert das ganze Verfahren, welches Volta anwandte, um das Fläſchlein im Freien durch die Luftelektricität zu laden. Der Beobachter hält daſſelbe in der rechten Hand, in der Linken aber einen Spazierſtock, auf welchen mittelſt einer Hülſe von Meſſingblech ein Glasſtab aufgeſetzt wird; auf dieſen Glasſtab wird dann wieder eine meſſingene Kappe aufgeſetzt, in welche ein in eine Spitze auslaufender Stahldraht aufgeſchraubt iſt. Auf das obere Ende dieſes ſtählernen Leiters bei *G* wird nun mit Hülfe von dünnem Eiſendraht ein Schwefelfaden aufgebunden und ferner bei *E* ein dünner Metalldraht *H* befeſtigt, welcher unten mit einer Schleife endet. Das Meſſingſtäbchen, welches durch den Hals der Flaſche gehend zur inneren Belegung führt, iſt oben ſtatt mit einer Kugel mit einem Haken verſehen, welcher in jene Schleife eingehängt wird.

Fig. 257.



Die Flamme des an ſeinem oberſten Ende angezündeten Schwefelfadens wirkt ganz wie feine Spitzen, ſie ſaugt die Luftelektricität gleichſam ein, welche dann durch den Draht *H* der kleinen Leidner Flaſche zugeführt wird.

Mit der in Fig. 257 abgebildeten Saugvorrichtung läßt ſich natürlich das Strohhalmelektrometer auch unmittelbar laden, wenn man daſſelbe ſtatt der Flaſche in der rechten Hand haltend, in die Schleife des Drahtes *H* einhängt. Zu dieſem Zwecke muß dann das iſolirte Meſſingſtäbchen, an welchem die Strohhalmpendel hängen, oben hakenförmig gebogen ſein.

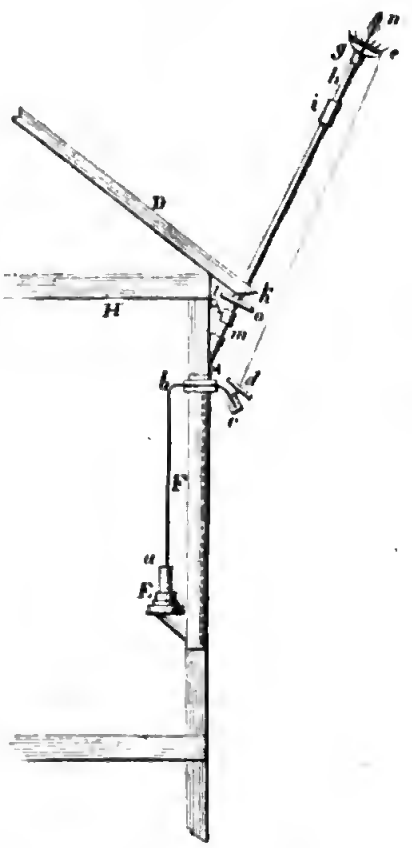
Um im Zimmer die Luftelektricität zu unterſuchen, brauchte man nur den Stock der eben beſchriebenen Vorrichtung mit ſeiner Stahlſpitze und dem brennenden Schwefelfaden zum geöffneten Fenſter hinaus zu halten und im Uebrigen zu verfahren, wie oben erwähnt wurde. Ein ſolches Verfahren iſt aber mühſam.

Um dieſe Unbequemlichkeit zu vermeiden, ſteckte Volta durch das geöffnete

Fenster eine etwa 12 Fuß lange hölzerne Stange hinaus, deren unteres Ende durch isolirende Träger gehalten wurde und an deren oberem Ende eine kleine Laterne von Blech befestigt war, in welcher eine kleine Kerze brannte. Von dieser Laterne ist dann ein Metalldraht gehörig isolirt durchs Fenster herein geführt, mit dessen unterem Ende man dann das Elektrometer in Verbindung bringen kann.

Fig. 258 zeigt eine von Romershausen construirte Vorrichtung zum Aufsaugen der Luftelektricität. D ist das Dach des Hauses, F das Fenster des Beobachtungszimmers. Die ungefähr 10 bis 12 Fuß lange Stange von lackirtem Tannenholz steckt unten bei m in einem eisernen Schuh und trägt an ihrem oberen Ende eine Messinghülse i, in welche ein mit Schellack überzogener, $1^1/_2$ Fuß langer Glasstab eingekittet ist. Dieser trägt dann die Saugvorrichtung gn.

Fig. 258.



Zu mehrerer Deutlichkeit ist diese Saugvorrichtung in Fig. 259 in grö-

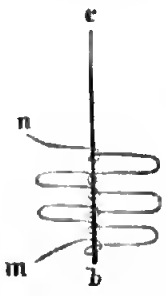
Fig. 259.

ßerem Maßstabe dargestellt. Im Inneren eines 5 Zoll im Durchmesser haltenden flachen Kupferringes sind die kupfernen, galvanisch vergoldeten und nach oben fein zugespitzten Auffangdrähte dd angelöthet. Ein im Durchmesser dieses Ringes angebrachter Kupferbügel trägt unterhalb die Hülse g zur Befestigung auf der Glasstange h und oberhalb ist eine höhere Drahtspitze bc eingelöthet.

Dieser oben fein zugespitzte und vergoldete, etwa 1‴ dicke Kupferdraht ist ringsum mit feinen haarförmigen Platinspitzen umgeben, und wird am leichtesten auf folgende Weise verfertigt: Die untere Hälfte des Drahtes wird mit Zinnloth überzogen und alsdann, wie Fig. 260 verdeutlicht, mit dem feinsten Platindraht umwunden und die Windungen über einer Spirituslampe angeschmol-

zen; die Schleifen werden alsdann aufgeſchnitten und die Drahtſpitzen zu einem Buſch geordnet, wie es die vorige Figur zeigt.

Fig. 260.



Der kupferne Leitungsdraht *de*, Fig. 258, wird bei *e* an den Kupferring angelöthet; bei *d* erhält derſelbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt (ein gleiches iſt bei *o* an der Stange angebracht). Bei *c* wird der von oben kommende Leitungsdraht mit dem in das Zimmer führenden am bequemſten mit einer Klemmſchraube verbunden; bei *b* geht dieſer letztere Draht durch eine Glasröhre, in welche er mit Schellack eingekittet iſt, vermöge deren er gehörig iſolirt durch ein Loch des Fenſterrahmens in das Zimmer eintritt. Der Draht *ba* geht dann herab zu dem ſeitwärts vom Fenſter aufgeſtellten und vor der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenſtrahlen geſchützten Elektrometer *E*.

Nehmen wir nun an, daß die Luft über der Spitze des Saugapparates wirklich elektriſch ſei, ſo wird ihre Elektricität vertheilend auf das ganze iſolirte Syſtem wirken, deſſen unteres Ende durch die Pendel des Elektrometers gebildet wird; die ungleichnamige Elektricität wird in die Spitze gezogen und ſtrömt hier aus, die gleichnamige wird in die Pendel hinabgetrieben, das Elektrometer wird alſo mit derſelben Elektricität geladen, welche in der Luft vorhanden iſt.

Anders verhält es ſich bei den neueren Beobachtungsmethoden, welche Lamont, Dellmann, Peltier und Quetelet anwenden. Dieſe Methode beſteht im Weſentlichen darin, daß eine iſolirte Kugel an einem erhabenen Ort aufgeſtellt und daſelbſt für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird; dabei nimmt die Kugel eine Elektricität an, welche derjenigen gerade entgegengeſetzt iſt, mit welcher ſich unter ſonſt gleichen Umſtänden nach der obigen Methode das Elektrometer geladen haben würde. Iſt nämlich die Luft elektriſch, ſo wird ſie durch Vertheilung die ihr entgegengeſetzte Elektricität in die Kugel ziehen, welche mit dieſer Elektricität geladen bleibt, wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden wieder aufhebt.

Bei Lamont bildet die fragliche Kugel das obere Ende des Elektrometers. Behufs einer Beobachtung trägt er das Elektrometer auf das flache Dach der Sternwarte, berührt auf kurze Zeit mit dem Finger die Kugel oder noch beſſer die metallene Röhre, auf welcher ſie ſitzt, und trägt dann das Elektrometer wieder in das Zimmer herab, wo die Ableſung derſelben vorgenommen wird.

Dellmann läßt das Elektrometer ſtets im Zimmer ſtehen. Die 3 bis 6 Zoll im Durchmeſſer haltende Ladungskugel *n*, Fig. 262 (a. f. S.), wird von einem Metallſtäbchen getragen, welches in einem Fuß von Schellack befeſtigt iſt. Ein Kautſchukplatte bildet die Baſis dieſes Fußes, welcher mit einem Kautſchukring umgeben in die obere Hälfte der meſſingenen ungefähr 10 Zoll langen Hülſe *l* eingeſetzt wird, wie Fig. 261 (a. f. S.) in größerem Maßſtabe zeigt.

Am oberen Ende dieſer Hülſe wird das Stäbchen durch eine gleichfalls mit einem Kautſchukringe umgebene Schellackplatte gehalten.

An der Giebelwand des Gebäudes, in welchem ſich das Beobachtungs-

zimmer befindet, ſind in 2 Meter Abſtand von einander zwei eiſerne Stangen *a* und *b*, Fig. 261, eingelaſſen, welche ungefähr 1 Fuß von der Wand entfernt

Fig. 262.

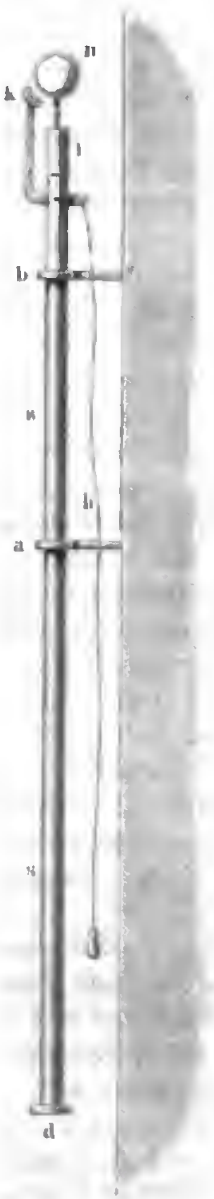
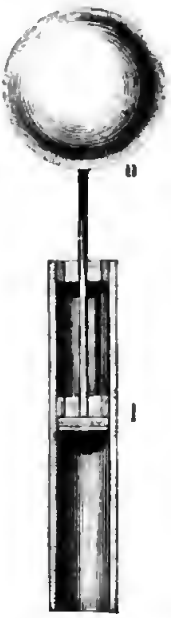


Fig. 261.



Ringe tragen, durch welche die 22 Fuß lange Stange *s* von Tannenholz hindurchgeht. Auf dieſe Stange wird nun von einem Fenſter des Giebels aus die Hülſe *l* mit der Sammelkugel aufgeſetzt, und dann die Stange mittelſt eines um eine Rolle geſchlungenen Seils aufgezogen, bis der eiſerne Schuh *d*, auf welchem die Stange *s* aufſitzt, an den Ring bei *a* anſtößt. In dieſer Stellung befeſtigt, ragt nun die Sammelkugel weit über den Giebel des Hauſes hinweg. Um ſie für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung zu bringen, iſt an der Stange ein metallener Hebel angebracht, von welchem ein Meſſingdraht herabhängt; durch Anziehen deſſelben wird der metallene Hebel ſo weit gedreht, daß der Meſſingbacken *k* die Kugel *n* berührt. Nachdem die Berührung kurze Zeit gedauert hat und die Kugel geladen iſt, läßt man den Draht *h* wieder los, der Hebel fällt durch ſein eigenes Gewicht in ſeine vorige Stellung zurück und nun wird die Stange wieder niedergelaſſen, die Hülſe mit der Sammelkugel abgehoben und in das Zimmer zurückgebracht. Hier wird ſie nun neben dem Elektrometer auf den Tiſch geſtellt, mit demſelben durch einen ungefähr 1‴ dicken und 1′ langen ſorgfältig iſolirten Meſſingdraht in Verbindung gebracht und endlich der Ausſchlag des Elektrometers abgeleſen.

203 **Atmoſphäriſche Elektricität an verſchiedenen Localitäten.** Wenn man nach irgend einer der im vorigen Paragraphen angegebenen Methoden verfährt, ſo erhält man faſt immer mehr oder weniger ſtarke elektriſche Ladungen, vorausgeſetzt, daß ſich keinerlei feſte Körper gerade über den Saugſpitzen oder der Sammelkugel befinden. In einem Zimmer, unter dem höchſten Gewölbe, im Inneren eines Waldes oder überhaupt unter Bäumen wird man nie eine Spur von Elektricität finden. Iſt aber das Zenith wirklich frei, ſo

zeigt sich unter sonst gleichen Umständen die atmosphärische Elektricität um so stärker, je weniger hohe Gegenstände sich neben den Saugspitzen oder den Ladungskugeln erheben; in der Ebene, auf freiem Felde erhält man also stärkere Ladungen als in der Sohle eines tief eingeschnittenen Thales oder auf der Straße zwischen Häusern.

Man hat deshalb die Sammelapparate so aufzustellen, daß sie möglichst frei stehen und daß sich in ihrer Nähe keine höheren Gegenstände befinden.

Die Intensität der Luftelektricität nimmt zu mit der Erhebung in der Atmosphäre. Wenn man das Strohhalmelektrometer unmittelbar mit einer Stahlspitze versieht, an derselben einen brennenden Schwefelfaden befestigt, und dann den Apparat mit der einen Hand in die Luft hebt, so wird die Divergenz der Pendel nur halb so groß, als wenn man den Versuch in der Fig. 257 angedeuteten Weise anstellt. Es rührt dies nur daher, daß sich im letzteren Falle die Spitze mit dem Schwefelfaden höher über dem Boden befindet als im ersteren. Je länger der in der Hand gehaltene Stab ist, welcher die Spitze trägt, desto stärker fällt die Ladung des Elektrometers oder der kleinen Leidner Flasche aus.

Schübler fand dies auch an einem freistehenden Thurme bestätigt; 30 Fuß über dem Boden und 5 Fuß von der Mauer weggehalten, zeigte das Elektrometer eine Divergenz von 15 Graden, während auf dem höchsten freien Punkte des Thurmes 180 Fuß über der Erdoberfläche die Divergenz auf 64° steigt; ferner fand er dies Gesetz auf einer Reise durch die Alpen bestätigt. Auf den Gipfeln hoher Bergspitzen und auf einzelnen isolirten schroffen Felsspitzen zeigte sich die Luftelektricität weit intensiver, als man sie unter sonst gleichen Umständen in ebenen Gegenden beobachtet.

Während der Luftfahrt, welche Biot und Gay-Luſſac am 24. August 1804 unternahmen, machten sie neben anderen physikalischen Beobachtungen auch einige Versuche über Luftelektricität in den höheren Regionen. Sie ließen einen 240 Fuß langen unten mit einer Metallkugel beschwerten Metalldraht isolirt aus der Gondel herab und fanden, daß er an seinem oberen Ende mit — E geladen sei, deren Intensität bei fernerem Steigen zunahm. Gilbert's Annalen Bd. XX, S. 15), und somit bestätigen auch diese Versuche den oben ausgesprochenen Satz.

Die Luftelektricität bei verschiedenem Zustande des Himmels. 204
Bei heiterem unbewölktem Himmel ist die Luftelektricität stets positiv; d. h. ein mit einem Saugapparat in Verbindung gebrachtes Elektrometer, wie es z. B. Volta anwandte, wird bei heiterem Himmel stets mit positiver Elektricität geladen, während man nach den Methoden von Dellmann und Lamont eine negative Ladung erhält.

Bei heiterem Wetter brachte die Luftelektricität an dem von Schübler in Stuttgart angewandten Strohhalmelektrometer ungefähr eine Divergenz von 12 Graden hervor.

Sehr stark ist die Luftelektricität bei Nebeln, und zwar ist sie während

derselben bis auf wenige Ausnahmen positiv, wie bei heiterem Himmel. Nach den Beobachtungen von Schübler bewirkt die positive Elektricität bei Nebeln im Durchschnitt eine Divergenz von 22,7° seines Elektrometers, sie ist also nahe doppelt so groß, als bei heiterem Himmel. Im Allgemeinen wächst die Stärke der atmosphärischen Elektricität mit der Dichtigkeit der Nebel.

Auch der Niederschlag des Thaues ist stets von einer starken Elektricität begleitet.

Fast alle atmosphärischen Niederschläge, wie Regen, Schnee, Hagel, zeigen sich bald mehr bald weniger elektrisch, und zwar ist ihre Elektricität in der Regel weit stärker als die, welche man bei heiterem Himmel sieht. Es zeigt sich hier auch nicht mehr bloß positive Elektricität, sondern abwechselnd positive und negative. So fand Schübler während 12 Monaten das meteorische Wasser 71mal positiv und 69mal negativ; der Schnee war jedoch hierbei 24mal positiv und nur 6mal negativ.

Am schwächsten zeigt sich die Elektricität des Regens, wenn er anhaltend und gleichmäßig in kleinen Tröpfchen niederfällt.

205 **Periodische Veränderungen der atmosphärischen Elektricität.** Wie der Druck, die Wärme und der Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre fortwährenden Schwankungen unterliegen, so auch die Luftelektricität, und zwar ist auch hier eine Periodicität nicht zu verkennen, wenn man die Mittelzahlen betrachtet, welche sich aus längere Zeit fortgesetzten Beobachtungsreihen ergeben.

Der tägliche Gang der Luftelektricität bei heiterem Wetter wird von Schübler in folgender Weise beschrieben: Bei Sonnenaufgang ist die atmosphärische Elektricität schwach; sie fängt, so wie sich die Sonne mehr über den Horizont erhebt, langsam zu steigen an, während sich gewöhnlich gleichzeitig die in den tieferen Luftschichten schwebenden Dünste vermehren. Gewöhnlich steigt die Elektricität unter diesen Umständen im Sommer bis gegen 6 und 7 Uhr, im Frühling und Herbst bis gegen 8 und 9 Uhr, im Winter bis gegen 10 und 11 Uhr; die Elektricität erreicht um diese Zeit ihr Maximum. Gleichzeitig sind die unteren Luftschichten oft sehr dunstig, der Thaupunkt liegt höher als bei Sonnenaufgang; in kälterer Jahreszeit tritt oft wirklicher Nebel ein.

Die Elektricität bleibt gewöhnlich nur kurze Zeit auf diesem Maximum stehen; sie vermindert sich wieder, während die dem Auge etwa sichtbaren Dünste in den unteren Luftschichten verschwinden. Einige Stunden vor Sonnenuntergang, im Sommer gegen 4 bis 5 und 6 Uhr, im Winter gegen 3 Uhr, erreicht die atmosphärische Elektricität wieder ein Minimum, in welchem sie etwas länger verharrt als im Maximum.

Mit Sonnenuntergang nimmt die Luftelektricität wieder rasch zu, während sich gleichzeitig die Dünste in den unteren Schichten der Atmosphäre wieder vermehren, und erreicht $1^1/_2$ bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum.

Ueberhaupt ist die positive Elektricität in den unteren Luftschichten um so stärker, in je größerer Menge sich Wasserdünste dem Auge sichtbar niederschla-

gen; am ſtärkſten iſt ſie daher in der kalten Jahreszeit, wo Dünſte und Nebel oft lange die unteren Luftſchichten erfüllen, am ſchwächſten in den heißeren Sommermonaten, wo dies weit ſeltener der Fall iſt, und wo die unteren Luftſchichten gewöhnlich eine größere Klarheit und Durchſichtigkeit beſitzen.

Die folgende Tabelle enthält die Reſultate zweijähriger Beobachtungen, welche Schübler bei heiterem oder nur wenig bewölktem Himmel anſtellte. Er ſammelte die Elektricität in einer kleinen Leidner Flaſche und maß dieſelbe an einem mit einem Condenſator verſehenen Strohhalmelektrometer.

In den Monaten:	Mittlere Stärke der Elektricität.				Mittlere Stärke.
	1tes Min. kurz vor ☉Aufgang.	1tes Max. einige Stunden nach ☉Aufgang.	2tes Min. einige Stunden vor ☉Untergang.	2tes Max. einige Stunden nach ☉Untergang.	
Januar	14,7	33,0	19,1	51,8	24,4
Februar	7,5	25,5	16,3	24,5	18,5
März	5,3	13,0	6,4	14,0	9,7
April	4,0	14,7	4,7	7,6	7,8
Mai	4,1	13,0	4,3	10,3	7,9
Juni	4,6	12,8	3,9	12,0	8,3
Juli	4,8	13,5	4,5	14,4	9,5
Auguſt	5,8	15,9	5,4	16,1	10,8
September . . .	5,5	15,4	5,0	15,6	10,4
October	7,2	15,3	6,3	19,7	12,3
November	5,5	14,4	8,2	17,4	11,8
December	12,4	18,8	12,8	20,7	16,3
Mittel	6,9	16,9	8,1	17,0	12,2

Durch lebhafte Winde, welche eine periodiſche Anſammlung von Dünſten verhindern, werden die täglichen Perioden der Luftelektricität ſehr verwiſcht.

Die Elektricität der Wolken und der aus ihnen erfolgenden wäſſerigen Niederſchläge zeigt einen merkwürdigen Gegenſatz zur Elektricität der unteren Luftſchichten.

Der Regen iſt nämlich in den Sommermonaten ungleich ſtärker elektriſch, als in der kälteren Jahreszeit. Die Elektricität des Regens im Monat Juli iſt im Durchſchnitt nahe 10mal ſo ſtark als die Elektricität der Niederſchläge im Januar.

Dieſe Reſultate, welche Schübler und andere ältere Phyſiker aus ihren Beobachtungen gezogen haben, werden in ihren weſentlichen Punkten auch durch

die neueren Beobachtungen beſtätigt, von denen ſehr zu wünſchen iſt, daß ſie nicht allein an den Orten fortgeſetzt werden, an welchen ſie bereits begonnen wurden, ſondern daß auch nach dem gleichen Plane mit vergleichbaren Inſtrumenten auch an anderen Orten fortlaufende Beobachtungen über dieſen für die Meteorologie ſo wichtigen Gegenſtand angeſtellt werden.

206 **Quelle der Luftelektricität.** Ueber den Urſprung der atmoſphäriſchen Elektricität ſind die Gelehrten noch nicht einig.

Längere Zeit hindurch fand Pouillet's Meinung, daß durch Verdampfung und Vegetation Elektricität erzeugt werde und daß hier die Quelle der Luftelektricität zu ſuchen ſei, viele Anhänger. Reich fand zwar die Verſuche beſtätigt, welche Pouillet angeſtellt hatte, um darzuthun, daß bei Verdampfung von Salzlöſungen Elektricität entwickelt werde, allein er zeigte, daß ſich Pouillet über die Quelle dieſer Elektricität getäuſcht habe, daß nicht die Verdampfung, ſondern die Reibung der fein zertheilten Flüſſigkeit gegen die Tiegelwand die Urſache der Elektricitätsentwickelung ſei. Ueberhaupt erhält man jene elektriſchen Ladungen nur dann, wenn die Flüſſigkeit ſiedet. Bei allmäliger Verdampfung konnte Rieß nie eine Spur von Elektricität nachweiſen, und ebenſo konnte Reich durch Verdampfung unter dem Siedepunkte nicht die allergeringſte Elektricitätsentwickelung entdecken.

Alle Verſuche, welche Reich anſtellte, um eine etwaige Elektricitätsentwickelung durch Condenſation von Waſſerdämpfen zu entdecken, gaben negative Reſultate.

Rieß wiederholte auch Pouillet's Verſuche über die Elektricitätsentwickelung durch den Vegetations-Proceß; er fand zwar Spuren von Elektricität, aber bald war dieſelbe poſitiv, bald negativ, und einige Controlverſuche, die in gleicher Weiſe mit unbeſäeter Erde angeſtellt wurden, machen es höchſt wahrſcheinlich, daß jene Spuren nicht von der Vegetation herrühren.

Kurz aus allen Verſuchen von Rieß und Reich geht hervor, daß die Meinung, als ob Verdampfung und Vegetations-Proceß die Urſache der Luftelektricität ſeien, durchaus nicht experimentell begründet iſt. (Siehe meinen Bericht über die neueren Fortſchritte der Phyſik. Braunſchweig 1849. Seite 14.)

So war denn der einzige Anhaltspunkt, den man zur Erklärung der atmoſphäriſchen Elektricität glaubte gewonnen zu haben, wieder verloren.

Eine ganz neue Anſicht über den Urſprung der Elektricität, welche die in dieſem Capitel beſprochenen Erſcheinungen bewirkt, hat der jüngere Peltier zuerſt in einem Briefe an Quetelet ausgeſprochen, und dieſer Anſicht ſtimmt auch Lamont bei, welcher ſie in ſeinem ſchon citirten Aufſatze ungefähr in folgender Weiſe entwickelt:

Die Erde beſitzt eine gewiſſe Menge negativer Elektricität, deren Menge ſich gleichbleibt, deren Vertheilung aber veränderlich iſt. Dieſe Elektricität nennt Lamont die permanente Elektricität der Erde, zum Unterſchied von der inducirten, die in jedem iſolirten Körper, er mag permanent elek-

trisch sein oder nicht, durch einen genäherten elektrischen Körper hervorgerufen wird. Die Atmosphäre, d. h. die reine Luft, hat gar keine Elektricität; sie ist unfähig, die Elektricität zu leiten oder zu behalten.

Wäre die Erde eine Kugel mit vollkommen glatter, gleichförmiger Oberfläche, so würden alle Punkte dieser Oberfläche gleich starke elektrische Spannungen zeigen. Diese Gleichheit wird aber durch zwei Umstände gestört, durch die Erhöhungen auf der Erdoberfläche und durch die Dünste, welche in der Atmosphäre schweben.

* Es ist eine bekannte Thatsache, daß das elektrische Fluidum sich vorzugsweise in Spitzen und Kanten ansammelt, und dadurch erklärt es sich denn leicht, daß auf Hausdächern, Kirchthürmen, Bergspitzen u. s. w. die Elektricität in größerer Menge angehäuft ist, daß überhaupt die Ladung der Sammelapparate um so stärker wird, je höher man sie über den Boden erhebt.

Die zweite der oben erwähnten Ursachen, welche eine ungleiche Vertheilung der Elektricität auf der Erdoberfläche zur Folge haben, ist der in der Atmosphäre befindliche Wasserdampf, und zwar haben wir hier zweierlei Fälle zu unterscheiden. Entweder ist die Dunstmasse mit der Erde in Berührung oder sie ist isolirt. Im ersteren Falle tritt dasselbe Verhältniß ein, wie auf einem Berge; die Elektricität verläßt denjenigen Theil der Erdoberfläche, der mit der Dunstmasse in Berührung steht, und begiebt sich auf die Oberfläche der Dunstmasse. Im zweiten Falle muß man in Betracht ziehen, daß jeder Körper latente Elektricität in unbestimmten Mengen enthält, die bei Annäherung eines anderen elektrischen Körpers nach den bekannten Gesetzen frei wird, und so kommt es, daß isolirt in der Luft schwebende Wolken durch die von der Erde ausgehende vertheilende Wirkung bald positiv bald negativ elektrisch werden.

Durch diese Hypothese finden nun alle oben beschriebenen Ladungserscheinungen an Elektrometern eine ebenso einfache und leichte Erklärung, wie durch die Annahme, daß die Luft elektrisch sei.

Auf ein mit der Spitze versehenes Elektrometer wirkt bei heiterem Himmel die negative Erdelektricität in der Weise vertheilend, daß die positive Elektricität des isolirten Systems in die Pendel herabgezogen, die negative aber in die Spitze getrieben wird, wo sie ausströmt.

In eine Kugel, welche, wie bei der Lamont'schen und Dellmann'schen Methode mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird, muß natürlich negative Elektricität einströmen.

Nimmt man die Beobachtung bei bedecktem Himmel nach länger anhaltendem Regen vor, wo die Luft mit Dünsten gesättigt ist, also die Wolken mit der Erde in leitender Verbindung stehen, so zeigt das Elektrometer gar keine Spannung an. In diesem Falle hat sich die Elektricität an die obere Gränze der Wolken hinaufgezogen und der Beobachter befindet sich im Inneren des elektrisirten Körpers, wo natürlich ebenso wenig wie in einem Zimmer eine elektrische Spannung vorhanden sein kann.

Wenn isolirt von dem Boden elektrische Wolken in der Luft schweben, so werden sie vertheilend auf die Erdoberfläche zurückwirken. Eine negativ elek-

triſche Wolke ſchwächt die permanente Elektricität der Erdoberfläche, und kann, wenn ſie ſtark genug geladen iſt, ſogar eine Anhäufung poſitiver Elektricität an denjenigen Orten der Erdoberfläche bewirken, über welchen ſie gerade ſchwebt. Eine poſitiv elektriſche Wolke dagegen wird durch Vertheilung die permanente negative Erdelektricität verſtärken.

So iſt denn jedenfalls in der Lamont'ſchen Hypotheſe der Erdelektricität eine Baſis zur rationellen Erklärung der in dieſem Capitel beſprochenen elektriſchen Erſcheinungen gegeben, und es iſt nun zu erwarten, ob weitere Forſchungen in dieſem Gebiete dieſe Hypotheſe beſtätigen oder nicht.

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

Magnetische Wirkung der Erde im Allgemeinen. Man kann 207
die Grundlehren der Mechanik vollständig darstellen, ohne daß von der Planetenbewegung die Rede ist, man kann die gesammte Elektricitätslehre entwickeln, ohne daß man nöthig hätte, die Gewitter und die atmosphärische Elektricität in den Kreis der Betrachtung zu ziehen.

Ganz anders verhält es sich mit dem Magnetismus. Die magnetischen Erscheinungen, welche man an Magnetstäben und Magnetnadeln beobachtet, stehen in so enger Beziehung zu dem Erdmagnetismus (die Pole der Magnete haben ja von dieser Beziehung sogar ihren Namen erhalten), daß schon in der Experimentalphysik nothwendig von demselben die Rede sein muß.

Während aber dort von dem Erdmagnetismus nur so weit die Rede sein kann, als zur Begründung der Lehre vom Magnetismus überhaupt nothwendig ist, bleibt es der kosmischen Physik vorbehalten, die magnetischen Verhältnisse der Erde einer specielleren Betrachtung zu unterwerfen.

Um die Wirkung des Erdmagnetismus an irgend einem gegebenen Orte der Erdoberfläche kennen zu lernen, muß man die Richtung und die Größe der Kraft erforschen, mit welcher er magnetische Körper afficirt. Die Richtung der magnetischen Körper ist durch Declination und Inclination gegeben; um also die magnetische Erdkraft eines Ortes zu ermitteln, hat man nur die sogenannten magnetischen Constanten derselben, nämlich Declination, Inclination und Intensität, zu bestimmen.

Hier haben wir nun ausführlicher zu besprechen, wie die magnetischen Constanten sich mit der geographischen Lage des Beobachtungsortes ändern, und welchen Variationen die magnetische Erdkraft unterworfen ist.

Welche Methoden anzuwenden sind, um die magnetischen Constanten eines Ortes zu ermitteln, muß der Hauptsache nach schon in der Experimentalphysik besprochen werden, doch dürfte es zweckmäßig sein, hier das Wichtigste zu wiederholen.

208 **Bestimmung der magnetischen Declination.** Früher wandte man zur Bestimmung der magnetischen Declination nur Apparate an, welche nach dem Principe der Declinationsbussolen construirt waren. Wenn die magnetische Axe der Nadel mit der geometrischen, d. h. mit der Verbindungslinie der beiden Spitzen zusammenfiele, so würde man an dem getheilten Kreise der Bussole unmittelbar die Declination ablesen können, vorausgesetzt, daß das Instrument so aufgestellt ist, daß die Verbindungslinie der Theilstriche 0 und 180 genau in den astronomischen Meridian fällt.

Im Allgemeinen ist aber diese Bedingung nicht erfüllt, d. h. die magnetische Axe der Nadel weicht in der Regel mehr oder weniger von der geometrischen ab. Dieser Fehler wird nun durch die Methode des Umkehrens corrigirt.

Zu diesem Zwecke ist die Nadel nicht auf ihrem Hütchen befestigt, sondern nur aufgelegt, so daß man sie abheben, umkehren (d. h. die bis dahin nach oben gerichtete Fläche nach unten wenden) und dann wieder auflegen kann. In Fig. 263 stelle z. B. ab die Lage einer horizontalen Magnetnadel dar, deren magnetische Axe in die Linie dc fällt, so ist die Gradzahl, auf welche die Spitze a der Nadel deutet, offenbar kleiner als der gesuchte Declinationswinkel. Legt man aber nun die Nadel in der angegebenen Weise um, so nimmt sie jetzt die Lage $a'b'$ an, und es deutet die Spitze a' der Nadel auf eine Gradzahl, welche um eben so viel zu groß ist, wie sie vorher zu klein war; man erhält also den wahren Werth der Declination, wenn man aus den beiden Ablesungen bei a und a' das Mittel nimmt.

Fig. 263.

Die Methode des Umlegens muß auch noch angewandt werden, wenn man die absolute Declination eines Ortes mit Hülfe von Spiegel tragenden Magneten bestimmt (Lehrbuch der Physik, 5. Aufl. Bd. II.), da man es doch nicht wohl dahin bringen kann, daß die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig zu der magnetischen Axe des Magnetstabes ist. Es versteht sich von selbst, daß, wenn man die Methode des Umlegens in Anwendung bringen will, der Spiegel mit dem Magneten auf eine unveränderliche Weise verbunden sein muß, so daß er bei dem Umlegen mit umgedreht wird, mag sich nun der Spiegel am vorderen Ende des Magneten befinden oder an seiner Umdrehungsaxe; im letzteren Falle wird sich

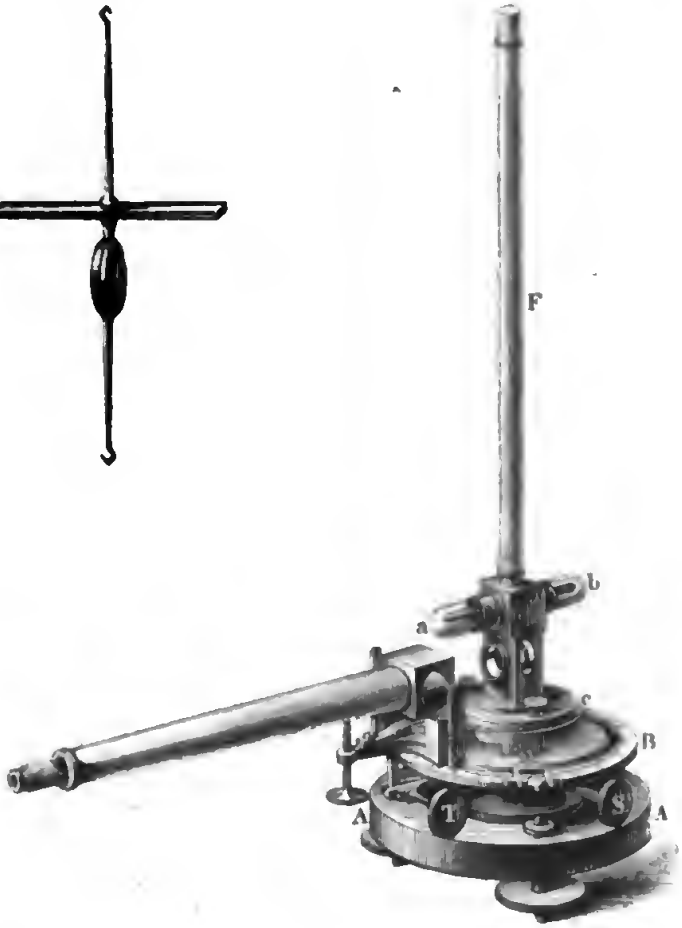
natürlich der Spiegel in der einen Lage über, in der anderen unter dem Magneten befinden (Fig. 264).

Da es höchst wünschenswerth ist, daß die magnetischen Constanten nicht allein für solche Orte mit Genauigkeit bestimmt werden, an welchen magnetische Observatorien errichtet worden sind, daß namentlich auch auf wissenschaftlichen Reisen dergleichen Bestimmungen gemacht werden, so ist es höchst wichtig, daß die für solche Zwecke nöthigen Apparate möglichst vereinfacht, daß sie bei großer Genauigkeit doch compendiös und leicht transportabel gemacht werden. In dieser Beziehung hat sich vor Allem Lamont durch die Construction seines magnetischen Reisetheodoliten große Verdienste erworben.

Fig. 265 ist eine perspectivische Ansicht von Lamont's magnetischem

Fig. 264.

Fig. 265.

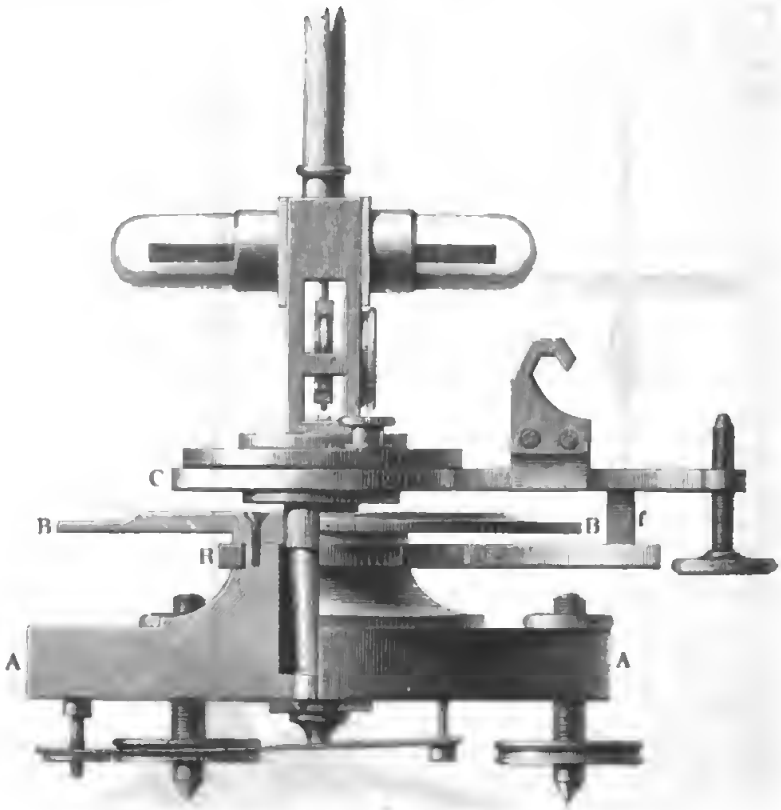


Theodoliten, wie er zu Declinationsbestimmungen dient. *AA* ist eine massive messingene Platte, welche, mit drei Stellschrauben zum Horizontalrichten versehen, auf ein passendes, in unserer Figur nicht dargestelltes Stativ gestellt wird. Mit dieser Platte unveränderlich verbunden ist die am Rande mit einem getheilten

Silberringe verſehene Scheibe BB. In Fig. 266 iſt ein geometriſcher Aufriß des Apparats in $^1/_2$ der natürlichen Größe und zwar zum Theil im Durchſchnitt dargeſtellt. Durch die Höhlung der Platte AA hindurch geht eine verticale Axe, welche die Scheibe C trägt. Die Scheibe C kann in ihrer Ebene um dieſe verticale Axe gedreht werden, und dieſe Drehung mit Hülfe zweier Nonien, (wovon der eine in Fig. 265 ſichtbar iſt), die an C befeſtigt ſind und an ſeiner Drehung Theil nehmen, auf dem getheilten Kreiſe abgeleſen werden.

Die Scheibe C trägt eine horizontale Verlängerung, welche als Fernrohrträger dient. Eine horizontale Axe, um welche ſich das Fernrohr drehen kann, wird durch

Fig. 266.

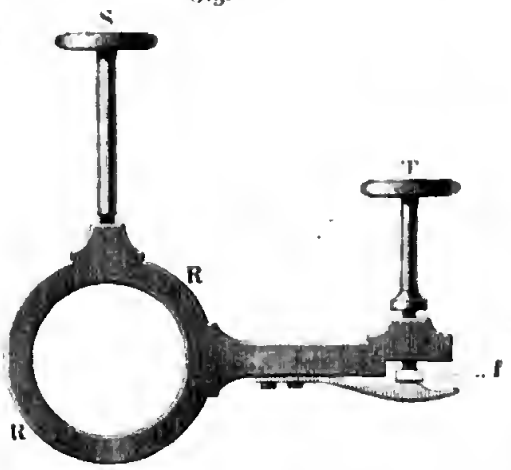


eine meſſingene Feder (überhaupt kommt außer dem Magnetſtäbchen am ganzen Apparat kein Eiſen vor) von unten gegen den in Fig. 266 ſichtbaren Haken angedrückt. Vor dieſem Haken befindet ſich noch eine Meſſingplatte, welche in Fig. 266 der Deutlichkeit wegen fortgeblieben iſt, welche man aber in der perſpectiviſchen Anſicht erkennt und welche dazu dient, eine ſeitliche Bewegung der Fernrohraxe zu verhindern. Ferner geht von dieſer das Fernrohr tragenden Verlängerung noch ein Stäbchen f herab, welches zwiſchen eine Verlängerung des Ringes R und eine an demſelben angeſchraubte Meſſingfeder hineinpaßt.

Dieſer Ring R, welcher, um den Träger des getheilten Kreiſes herumgelegt,

um denſelben ſich frei drehen läßt, iſt in Fig. 267 im Grundriß dargeſtellt. Durch Anziehen der Klemmſchraube S wird der Ring R feſtgeſtellt und dadurch auch eine weitere Umdrehung der Scheibe C mit Allem, was darauf befeſtigt iſt, verhindert; eine feinere Einſtellung geſchieht dann mittelſt der Stellſchraube T.

Fig. 267.



Auf die Scheibe C wird nun, nachdem man dieſelbe mit Hülfe einer Waſſerwage und der drei Stellſchrauben der Platte A horizontal geſtellt hat, das Magnetgehäuſe aufgeſchraubt. Der Raum, in welchem das Magnetſtäbchen ſelbſt ſpielen kann, wird durch zwei an den Enden zugeſchmolzene Glasröhrchen gebildet. Es wird von einem durch die Meſſingröhre F, Fig. 265, herabhängenden Seidenfaden getragen. Der Spiegel befindet ſich unterhalb des Magnets. Ihm gegenüber iſt das Gehäuſe, welches auch ſeitliche, mit Glasplatten geſchloſſene Oeffnungen hat, mit einer Platte von geſchliffenem Spiegelglas geſchloſſen.

Der Magnet mit dem Spiegel hat die in Fig. 264 für ſich allein abgebildete Einrichtung, wenn man ſich das Stäbchen mit dem Haken wegdenkt, welches in Fig. 264 noch unter dem Spiegel angebracht iſt.

Wenn man die Scheibe C ſammt dem Magnetgehäuſe um ihre verticale Axe ſo dreht, daß die horizontale Axe der beiden Glasröhren $a\,b$ ungefähr in den magnetiſchen Meridian zu ſtehen kommt, ſo kann nun der Magnet frei ſpielen und ſich in den magnetiſchen Meridian einſtellen. Nehmen wir an, daß die Ebene des Spiegels genau rechtwinklig ſtände auf der magnetiſchen Axe des Magnetſtabes, ſo würde eine auf der Ebene des Spiegels normale Linie die Richtung des magnetiſchen Meridians angeben. Die Normale der Spiegelebene wird bei der richtigen Stellung des Apparates durch die Axe des Fernrohres bezeichnet, deſſen eigenthümliche Einrichtung aus dem Durchſchnitt Fig. 268 deutlicher zu erſehen iſt.

Das Objectiv des Fernrohrs iſt dem Spiegel zugewendet. Da wo das vom Objectiv entworfene Bild entſteht, bei $a\,b$, Fig. 268, iſt das Rohr durch eine Glasplatte verſchloſſen, auf welcher eine ſenkrechte und eine wagerechte feine Linie eingeritzt ſind, welche die Stelle des Fadenkreuzes vertreten. Das Ocular ſteckt in der Hülſe $c\,d$, welche von oben her zur Hälfte eingeſchnitten iſt, ſo daß

Fig. 268.

man in dieſen Einſchnitt ein Spiegelchen legen kann. Dieſer kleine Spiegel dient zur Erleuchtung des Fadenkreuzes. Iſt der Apparat nahezu in die richtige Lage gebracht, ſo erblickt man, durch das Ocular ſchauend, den verticalen Strich einmal direct und dann noch ſein Bild im Spiegel des Magnets. Mit Hülfe der Stellſchraube *T* kann man es aber nun leicht dahin bringen, daß die beiden Bilder des verticalen Striches zuſammenfallen, und wenn dies der Fall iſt, ſo ſteht in der That die Axe des Fernrohrs normal auf der Spiegelebene; ſie ſteht alſo im magnetiſchen Meridian, wenn die Spiegelebene rechtwinklig ſteht auf der magnetiſchen Axe des Magnetſtabes.

Iſt auf dieſe Weiſe die Axe des Fernrohrs in die Ebene des magnetiſchen Meridians eingeſtellt, ſo wird der Nonius abgeleſen, dann das Magnetgehäuſe vom Theodolit abgehoben und die Scheibe *C* ſammt dem Fernrohre um die verticale Axe gedreht, bis die Viſirlinie des Fernrohrs in dem aſtronomiſchen Meridian ſteht, bis es alſo auf ein für den Beobachtungsort beſtimmtes Meridianzeichen gerichtet iſt, und nun abermals der Nonius abgeleſen. Der Unterſchied dieſer beiden Ableſungen ergiebt dann die geſuchte Declination.

Wenn, wie es wohl meiſtens der Fall iſt, für den Ort, wo das magnetiſche Theodolit aufgeſtellt wurde, gerade kein Meridianzeichen vorhanden iſt, ſo richtet man das Fernrohr auf irgend einen entfernten Punkt, deſſen Azimut für den Beobachtungsort entweder ſchon bekannt iſt, oder aus genauen Karten ermittelt werden kann, und beſtimmt alſo den Winkel, welchen der magnetiſche Meridian mit der nach dem fraglichen Orte gerichteten Viſirlinie macht.

So fand z. B. Lamont, als er am 7. October 1852 auf dem Schloßberge bei Freiburg ſein Theodolit aufgeſtellt hatte und die Viſirlinie des Fernrohrs rechtwinklig auf der Ebene des Magnetſpiegels ſtand, daß der Nonius auf 308° 22,6′ zeigte. Nach Abnahme des Magnetgehäuſes wurde das Fernrohr auf die Spitze des Kirchthurms von Langendenzlingen (ungefähr zwei Stunden nördlich von Freiburg) gerichtet, und nun zeigte der Nonius auf 278° 14,3′; der Unterſchied der beiden Ableſungen beträgt alſo 30° 8,3′.

Den Generalſtabskarten zufolge liegt die Viſirlinie von dem Beobachtungspunkte auf dem Schloßberge nach dem Kirchthurme von Denzlingen noch 12° 43′ öſtlich vom aſtronomiſchen Meridian; dieſe 12° 43′ ſind nun noch von 30° 8,3′ abzuziehen, und ſo bleibt alſo für die Declination der Werth 17° 25,3′.

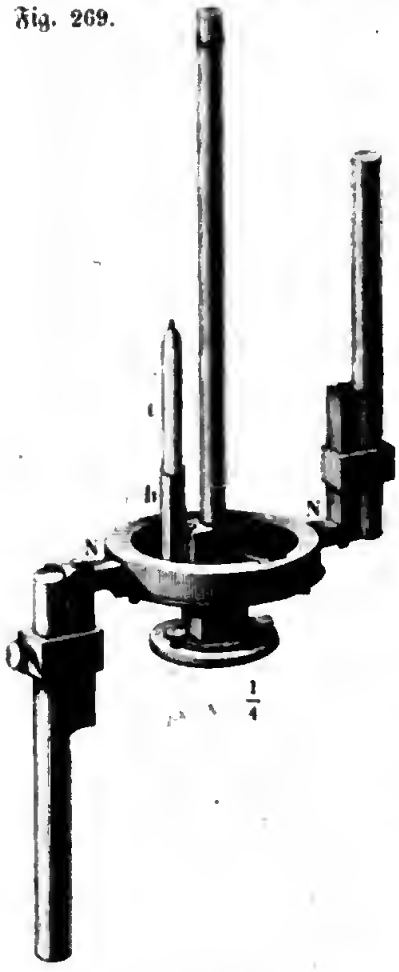
Dies wäre der wahre Werth der Declination, wenn die Ebene des Spiegels abſolut rechtwinklig auf der magnetiſchen Axe des Magneten ſtände, was mit voller Genauigkeit nie erreichbar iſt. Der magnetiſche Reiſetheodolit iſt nicht ſo eingerichtet, daß man den Magnet umlegen und alsdann mittelſt einer zweiten Meſſung den Collimationsfehler eliminiren kann; dagegen iſt die Größe dieſes Fehlers durch genaue Meſſung in einem magnetiſchen Obſervatorium, für welches die Lage des magnetiſchen Meridians bereits ermittelt iſt, ein- für allemal beſtimmt. Für das fragliche Inſtrument, mit welchem Lamont die obigen Meſſungen ausführte, beträgt er + 14, 5′, und dieſe ſind noch zu 17° 25,3′ zu addiren, um den wahren Werth der Declination für Freiburg zu finden, welcher demnach 17° 39,8′ iſt.

Bestimmung der Inclination. Die Inclination läßt sich nicht so 209
leicht direct mit Genauigkeit bestimmen als die Declination, weil es ungemein schwierig ist, zuverlässige Inclinatorien zu construiren, weshalb denn auch diese Instrumente sehr kostspielig und für öfteren Transport wenig geeignet sind. Man hat deshalb auf mannigfache Weise versucht, die Inclination auf indirectem Wege zu bestimmen. Brugmann sprach zuerst die Idee aus, den durch den Erdmagnetismus im weichen Eisen inducirten Magnetismus zur Inclinationsbestimmung anzuwenden, und eine von Lloyd auf diese Idee gegründete Methode wurde bereits in meinem Lehrbuche der Physik (5. Aufl. Bd. II., S. 40) besprochen.

In anderer Weise hat Lamont die magnetische Induction im weichen Eisen benutzt, um an seinem magnetischen Reisetheodolit eine Vorrichtung zur indirecten Bestimmung der magnetischen Inclination anzubringen.

In Fig. 269 ist das Magnetgehäuse sammt der Inclinationsvorrichtung dargestellt. Auf das Magnetgehäuse wird zunächst eine Messingplatte aufgesetzt, welche eine Hülse *h* zum Einstecken eines Thermometers *t* trägt. Auf diese Scheibe wird der massive Messingring *NN* aufgesetzt, welcher, oben und unten eben abgeschliffen, überall möglichst von gleicher Dicke ist; dieser Ring trägt seitlich zwei Arme, von denen der eine aufwärts, der andere abwärts gerichtet ist.

Fig. 269.



In diese zwei Arme werden zwei runde Stäbe von weichem Eisen eingesteckt und mittelst entsprechender Schrauben festgeklemmt.

Bevor man den Ring mit den Eisenstäben aufsetzt, wird das Instrument gerade so eingestellt, wie zu einer Declinationsbestimmung, d. h. so daß, wenn man in das Fernrohr schaut, das durch den Magnetspiegel reflectirte Bild des verticalen Fadens mit dem direct gesehenen zusammenfällt. Nun wird der Ring mit den Eisenstäben auf das Magnetgehäuse gesetzt, und zwar so, daß die Verticalebene der beiden Stäbe, durch die Mitte des Magnetstäbchens gehend, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht.

In der Höhe des Magnetstäbchens befindet sich nun auf der einen Seite in Nordpol (das untere Ende des nach oben gekehrten Eisenstabes), auf der an-

deren ein Südpol (das obere Ende des nach unten gekehrten Eisenstabes), und diese beiden magnetischen Pole bewirken im gleichen Sinne eine Ablenkung des Magnetstäbchens aus dem magnetischen Meridian. Die Größe dieser Ablenkung erfährt man, wenn man die Platte C, Fig. 265, sammt Allem, was darauf und daran befestigt ist, um ihre verticale Axe dreht, um dem abgelenkten Magnetstäbchen zu folgen, bis die Axe des Fernrohrs wieder rechtwinklig steht auf der Ebene des Magnetspiegels, bis also die beiden Bilder des verticalen Fadens wieder zusammenfallen, wenn man in das Ocular des Fernrohrs hineinschaut.

Liest man jetzt den Nonius abermals ab, so giebt die Differenz dieser und der ersten Ablesung die Größe des Winkels, um welchen das Magnetstäbchen durch den Einfluß des in den beiden Eisenstäben inducirten Magnetismus aus dem magnetischen Meridian abgelenkt worden ist. Wir wollen diesen Ablenkungswinkel mit v bezeichnen und zunächst sehen, in welchem Zusammenhange der Werth dieses Winkels v mit der Inclination i steht.

Es sei X der horizontale und Y der verticale Erdmagnetismus, so ist die Kraft, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstäbchen in denselben zurückzuziehen strebt, gleich $X \sin. v$.

Der in den beiden Eisenstäben inducirte Magnetismus, also auch das Drehungsmoment, welches sie auf das Magnetstäbchen ausüben, ist aber dem verticalen Erdmagnetismus proportional, dieses Drehungsmoment ist also KY, wenn durch K ein constanter Factor bezeichnet wird. Dieses Drehungsmoment hält aber der Kraft das Gleichgewicht, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das abgelenkte Magnetstäbchen nach dem magnetischen Meridian zurückzieht; wir haben also

$$X . \sin. v = KY.$$

Setzt man die Inclination gleich i, so ist $Y = X . \tang. i$, folglich auch

$$\tang. i = \frac{1}{K} \sin. v.$$

Man erhält also die Tangente der Inclination, wenn man den Sinus der durch die verticalen eisernen Stäbe bewirkten Ablenkung mit einem constanten Factor $\frac{1}{K}$ multiplicirt, dessen Werth für ein bestimmtes Paar von Eisenstäben dadurch ermittelt wird, daß man für denselben Ort an einem zuverlässigen Inclinatorium die Inclination i und an dem magnetischen Theodolit die entsprechende durch die verticalen Eisenstäbe bewirkte Ablenkung v abliest.

So fand Lamont im Jahre 1850 die Inclination in München gleich $64^\circ 59{,}5'$ und die entsprechende durch die Eisenstäbe am magnetischen Theodolit bewirkte Ablenkung gleich $20^\circ 18{,}4'$; es ist demnach

$$\frac{1}{K} = \frac{\tang. 64^\circ 59{,}5'}{\sin. 20^\circ 18{,}4'} = 6{,}177.$$

Iſt einmal dieſer Factor für ein beſtimmtes Inſtrument mit beſtimmten Eiſenſtäben ermittelt, ſo reicht an einem anderen Orte nur die Beobachtung der Ablenkung v hin, um aus derſelben die entſprechende Inclination zu berechnen. Im Jahre 1850 fand z. B. Lamont zu Aſchaffenburg mit ſeinem Inſtrumente die fragliche Ablenkung gleich 22° 1′; für Aſchaffenburg wäre demnach

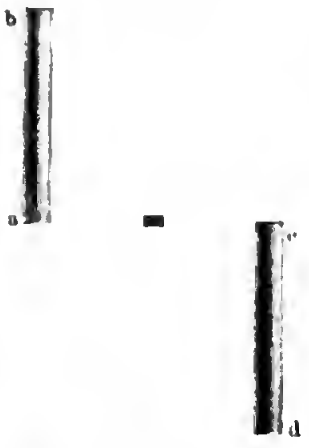
$$tang.\ i = 6{,}177\ .\ sin.\ (22^\circ\ 1')$$

und darnach

$$i = 66^\circ\ 38{,}5'.$$

Es iſt bisher nur von einer einmaligen Beobachtung der durch den inducirten Magnetismus der Eiſenſtäbe hervorgebrachten Ablenkung die Rede geweſen; da aber die Eiſenſtäbe nie abſolut frei von permanentem Magnetismus ſind, ſo iſt es nothwendig, die Beobachtung in der Weiſe zu vervielfältigen, daß dadurch ein vom permanenten Magnetismus herrührender, ſowie ſonſtige Fehler möglichſt eliminirt werden; es geſchieht dies dadurch, daß man in der Stellung der Eiſenſtäbe gegen das Magnetſtäbchen ſo viel Variationen macht als möglich.

Fig. 270.



Es ſtelle Fig. 270 die erſte Stellung dar, für welche man die Ablenkung beobachtet hat, ſo erhält man eine entſprechende Ablenkung nach der entgegengeſetzten Seite, wenn man den Ring in ſeiner Ebene um 180° dreht, ſo daß nun die Eiſenſtäbe in die Poſition Fig. 271 gegen die Magnetſtäbchen kommen.

Fig. 271.

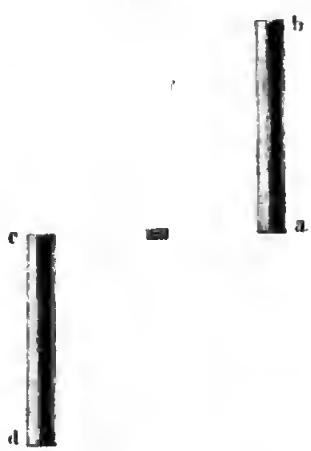
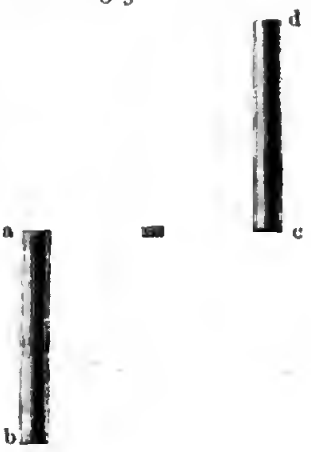


Fig. 272.

Kehrt man nun den Ring ſo um, daß die bisher untere Fläche die obere wird, ſo erhält man eine dritte Stellung der Eiſenſtäbe, Fig. 272, und eine vierte, Fig. 273, endlich, wenn man den Ring wieder in ſeiner Ebene um 180° dreht.

Bei dieſen vier Stellungen waren die Eiſenſtäbe ſtets in gleicher Weiſe

Fig. 273



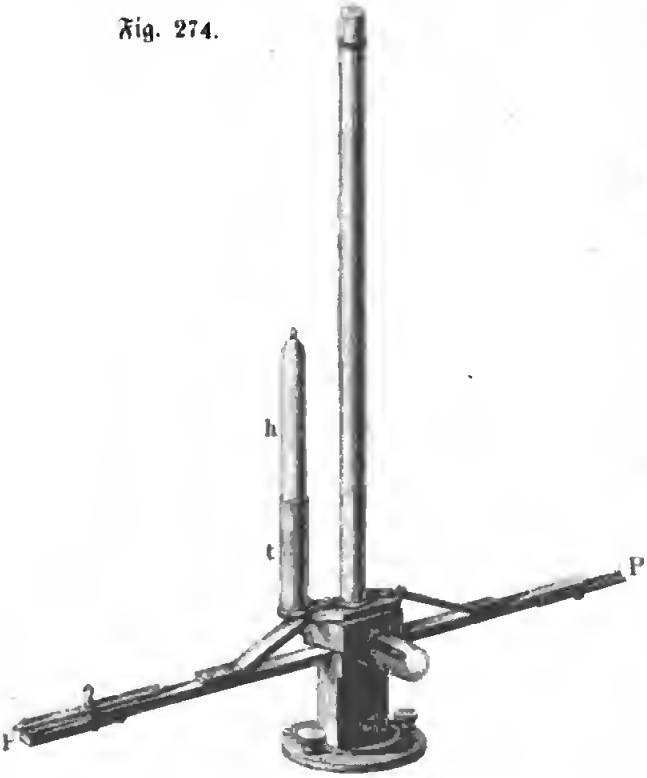
eingeklemmt; nun aber kann man jeden in seinem Halter umkehren, so daß die Stabenden b und d in die Horizontalebene des Magnetstäbchens kommen. Nach dieser Veränderung wiederholt man die Beobachtung in den eben besprochenen vier Stellungen und erhält so für die gesuchte Ablenkung acht Beobachtungen, aus denen man das Mittel nimmt.

Die Stärke der magnetischen Induction in den Eisenstäben ist von der Temperatur abhängig, außerdem aber nimmt die Inductionsfähigkeit des weichen Eisens, welche unmittelbar nach dem Ausglühen am größten ist, allmälig ab, und diese beiden Umstände machen bei der Berechnung der Inclination Correctionen nöthig, welche nicht unbeachtet bleiben dürfen, wenn es auf große Genauigkeit ankommt. In Beziehung auf diese Correctionen müssen wir auf die von Lamont in seiner »Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate« gegebene Auseinandersetzung verweisen.

210 **Bestimmung der horizontalen Intensität.** Die Methode, welche man anzuwenden hat, um die horizontale Intensität nach absolutem Maße zu bestimmen, ist bereits im Lehrbuch der Physik besprochen worden. An seinem magnetischen Theodolit hat nun Lamont diejenigen Vorrichtungen angebracht, welche zu einer solchen Bestimmung der Intensität nothwendig sind. [1]

Die Bestimmung der Intensität nach absolutem Maß erfordert zwei gesonderte Beobachtungen, nämlich 1) die Beobachtung der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Declinationsnadel bewirkt, und 2) die Beobachtung der Schwingungen, welche das Ablenkungsstäbchen unter dem Einfluß des Erdmagnetismus macht.

Fig. 274.



Für die Ablenkungsversuche wird an dem magnetischen Theodolit eine Ablenkungsschiene PP aufgesetzt, wie man es Fig. 274 sieht, und nachdem das Instrument so eingestellt worden ist, daß die Axe des Fernrohrs normal steht auf der Ebene des Magnetspiegels, und man für

dieſe Stellung den Nonius abgeleſen hat, wird nun der Ablenkungsmagnet an dem einen Ende der Schiene aufgelegt. — Damit er immer genau auf dieſelbe Stelle kommt, iſt auf der Schiene, wie man Fig. 275 ſieht, welche das eine Ende der Schiene in größerem Maßſtabe darſtellt, ein Knopf *f* und am Ende derſelben eine kleine Feder *g* befeſtigt, welche genau in zwei Löcher des Magnetſtäbchens paſſen.

Fig. 275.

Hat man die dieſer Stellung des Magneten entſprechende Ablenkung abgeleſen, ſo wird der Ablenkungsmagnet ſo umgelegt, daß ſein Nordpol dahin kommt, wo eben ſein Südpol lag, und umgekehrt, und abermals die nun nach entgegengeſetzter Seite gerichtete Ablenkung abgeleſen. Iſt dies geſchehen, ſo wird der Ablenkungsmagnet auf das entgegengeſetzte Ende der Ablenkungsſchiene gebracht und für die dort möglichen beiden Stellungen des Ablenkungsmagneten ebenfalls die entſprechende Ablenkung abgeleſen. So erhält man für die Ablenkung vier Werthe, aus denen das Mittel genommen und in Rechnung gebracht wird.

Fig. 276.

Die Geſammtlänge der Ablenkungsſchiene beträgt 34, die Länge des Ablenkungsmagneten beträgt 8 Centimeter.

Um die Schwingungsverſuche zu machen, wird der Ablenkungsmagnet mittelſt eines ungedrehten Seidenfadens an einem meſſingenen Säulchen *s*, Fig. 276, aufgehängt. Um den Magneten vor ſtörenden Luftſtrömungen zu ſchützen, wird das Meſſingſäulchen in ein Holzkäſtchen *kk* eingeſetzt, welches oben mit einer Glasplatte zugedeckt wird. Unſere Figur zeigt die ganze Vorrichtung in $^1/_2$ der natürlichen Größe, und zwar gerade in der Mitte dieſer Glasplatte durchgeſchnitten. Die Mitte durchbohrt, ſo daß das Meſſingſtäbchen hindurchgeht. und der die Nadel tragende Faden hindurchgeht. Um den Rand dieſer Oeffnung iſt ein Schraubengewinde auf-

gekittet, auf welches die Messinghülse h aufgeschraubt wird, durch welche auch der Seidenfaden vor störendem Luftzug geschützt ist.

Eine Combination der Ablenkungs- und Schwingungsversuche zur Berechnung der Intensität nach absolutem Maß wandte jedoch Lamont auf Reisen nie an, sondern er machte entweder nur Ablenkungs- oder nur Schwingungsbeobachtungen und berechnete die Intensität durch Vergleichung mit den entsprechenden in dem Münchner Observatorium angestellten Beobachtungen.

Sind T und v die zusammengehörigen Werthe der horizontalen Intensität und der Ablenkung, so haben wir

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang. \, v \ldots . \; 1),$$

wenn M die Stärke des Stabmagnetismus bezeichnet. Für einen anderen Ort, dessen horizontale Intensität T' ist, sei die entsprechende durch dasselbe Magnetstäbchen an demselben Instrument bewirkte Ablenkung v', so ist

$$\frac{M}{T'} = r^3 \, tang. \, v' \ldots . \; 2),$$

und wenn man die Gleichung 2) in die Gleichung 1) dividirt,

$$\frac{T'}{T} = \frac{tang. \, v}{tang. \, v'},$$

oder

$$T' = T \, \frac{tang. \, v}{tang. \, v'};$$

kennt man also T, v und v', so kann man nach dieser Formel T' berechnen.

So fand man z. B. die zusammengehörigen Werthe von T und v im Jahre 1850 zu München gleich 1,952 und 49° 50′. Mit demselben Reisetheodolit und demselben Magnetstäbchen ergab sich zu Aschaffenburg eine Ablenkung von 51° 50′, die horizontale Intensität T' für Aschaffenburg ist demnach

$$T' = 1{,}952 \, . \, \frac{tang. \, 49°\,50'}{tang. \, 51°\,50'} = 1{,}859.$$

Für die genaue Berechnung der horizontalen Intensität sind nun gleichfalls Correctionen wegen der Temperatur u. s. w. nöthig, welche hier nicht weiter besprochen werden können.

211 **Die magnetischen Constanten verschiedener Orte.** In neuerer Zeit sind nicht allein zahlreiche magnetische Observatorien errichtet, sondern es sind auch durch magnetische Expeditionen die magnetischen Constanten an den verschiedensten Orten der Erde bestimmt worden. In Deutschland ist namentlich Lamont seit 1849 rastlos bemüht, die magnetischen Constanten verschiedener Orte zu ermitteln, und hat die Resultate magnetischer Excursionen in einem eigenen Werke: »Magnetische Ortsbestimmungen, ausgeführt an verschiedenen Punkten des Königreichs Baiern und an einigen anderen Stationen. München 1854,« publicirt.

In den Jahren 1856 und 1857 unternahm Lamont eine magnetiſche Expedition nach Frankreich und Spanien; im Jahre 1858 aber eine ſolche nach dem nördlichen Deutſchland, Belgien, Holland und Dänemark. Den Bericht über dieſe Reiſen und die Reſultate derſelben hat er in ſeinen »Unterſuchungen über die Richtung und Stärke des Erdmagnetismus u. ſ. w., München 1858 und 1859« niedergelegt. Die folgende Tabelle enthält die magnetiſchen Conſtanten für eine Reihe von Orten, für welche ſie am genaueſten beſtimmt ſind. Dieſe Tabelle iſt Lamont's »Aſtronomie und Erdmagnetismus, Stuttgart 1851,« entnommen, nur ſind nach den oben citirten »Magnetiſchen Ortsbeſtimmungen« neuere Beſtimmungen für ältere Zahlen geſetzt worden.

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizontale Intenſität.
I. Deutſchland und dazu gehörige Länder.				
Aſchaffenburg	1850	17° 28,6′	66° 43,4′	1,855
Augsburg	1850	16 15,0	65 14,9	1,937
Berlin	1845	16 32,0	67 35,0	1,780
Bregenz	1845	17 20,0	64 56,0	1,950
Carlsruhe	1850	17 30,3	66 8,4	1,891
Darmſtadt	1850	17 9,9	66 59,4	1,820
Freiburg	1850	17 39,3	65 28,4	1,934
Göttingen	1845	17 43,0	67 32,0	1,785
Hermannſtadt	1845	10 6,0	61 21,0	2,171
Krakau	1845	12 15,0	65 27,0	1,931
Leipzig	1850	15 43,8	67 5,0	1,831
Mailand	1845	17 0,0	63 13,0	2,037
Marburg	1850	17 40,4	67 17,8	1,824
München	1850	16 13,6	65 24,9	1,925
Nürnberg	1850	16 19,5	65 54,8	1,902
Ofen	1845	12 52,0	63 20,0	2,036
Prag	1850	14 38,3	66 52,0	1,892
Speyer	1850	17 35,6	66 20,8	1,881
Venedig	1845	14 4,0	64 22,0	2,036
Wien	1850	13 33,5	64 22,0	1,995
II. Großbritannien, Frankreich, Belgien, Holland.				
Brüſſel	1850	20° 40,7′	67° 54,8′	1,771
Dublin	1845	27 0,0	69 41	1,689
Greenwich	1850	22 29,5	68 48,0	1,739
Leiden	1845	20 52,0		1,723
Paris	1850	20 35,8	66 42,2	1,858

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizontale Intenſität.
III. Rußland und die ſkandinaviſchen Länder.				
Barnaul	1842	— 8° 25′	70° 7′	2,051
Catharinenburg	1842	— 6 39	69 53	1,838
Chriſtiania	—	+ 19 50	72 7	1,547
Jakutzk	—	+ 5 50	74 18	1,571
Irkutzk	—	— 1 38	68 14	2,134
Kaſan	1842	— 3 24	68 22	1,877
Moskau	—	+ 8 2	68 57	1,762
Nertſchinsk	1842	+ 3 44	67 8	2,206
Petersburg	1842	+ 6 21	71 0	1,658
Reikiawig	—	+ 43 14	77 0	....
Spitzbergen	—	+ 25 12	81 11	0,836
Tiflis	1845	+ 1 52		2,554
IV. Südeuropa.				
Gibraltar	1840	21° 40′	59° 40′	2,289
Palermo	1835	16 8	57 16	2,435
V. Afrika.				
Algier	1842	18° 35′	+ 57° 21′	2,373
Cap der guten Hoffnung	1842	29 13	— 53 20	2,115
St. Helena	1842	23 32	— 21 52	2,734
Port Louis (Mauritius)	1845	9 44	— 53 56	2,377
VI. Südaſiatiſche Länder.				
Bombay	1845	.....	+ 18° 12′	3,631
Macao	1841	— 0 35	+ 30 1	3,428
Madras	1837	.....	+ 6 52	3,577
Manilla	1840	— 0 18	+ 16 27	3,709
Peking		+ 1 48	+ 54 49	2,925
Singapore	1841	— 1 39	— 12 1	3,671

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizontale Intensität.
VII. Nordamerika.				
Acapulco	1838	— 8° 23′	+ 37° 57′	3,672
Albany	1840	+ 6 58	74 48	1,658
Buffalo-See	1837	+ 1 25	74 38	. . .
Cambridge	1840	+ 9 12	74 19	. . .
Cincinnati	1840	— 4 46	70 27	2,095
Fort Vancouver	1839	— 19 22	69 22	2,040
Hudson	1840	— 1 52	72 48	. . .
Mont-Real	1835	+ 9 50	77 9	1,389
New-York	1840	+ 5 34	72 39	. . .
Port Etches	1837	— 31 38	76 3	. . .
Santa Barbara	1839	— 13 28	58 54	. . .
San Francisco	1838	— 15 20	62 0	2,526
Sitka	1845	— 28 53	75 51	1,466
St. Louis	1835	— 8 49	69 28	. . .
Washington	1842	+ 1 24	71 14	2,007
VIII. Südamerika.				
Bahia	—	+ 4° 18′	+ 5° 24′	3,036
Callao	1838	— 10 44	— 6 14	3,403
Chiloe	—	— 18 0	— 49 26	2,975
Gallopagos-Insel	1839	— 9 30	+ 9 29	. . .
Monte-Video	—	— 12 0	— 35 40	3,009
Panama	1837	— 7 2	+ 31 52	3,575
Pernambuco	—	+ 5 54	+ 13 13	. . .
Rio-Janeiro	—	— 2 8	— 13 30	. . .
Valparaiso	—	— 15 18	— 39 7	. . .
IX. Australien.				
Aukland-Insel	1841	— 15° 29′	— 73° 10′	1,893
Bai of Island (Neu-Seeland)	1842	— 13 36	— 59 32	. . .
Hobartown	1846	— 9 55	— 70 36	2,070
King George's Sound . .	1845	— 5 33	— 65 4	. . .
Point Venus (Otaheiti) .	1840	— 6 30	— 30 18	3,417
Port Louis (Falklands Inseln)	1842	— 17 36	— 52 26	. . .
Sydney	1842	— 9 51	— 62 49	2,712

In dieser Tabelle bezeichnet — eine östliche Declination und eine südliche Inclination, das Zeichen + dagegen oder kein Vorzeichen westliche Declination und nördliche Inclination.

212 **Magnetische Curven.** So wie durch die Isothermen die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche anschaulich gemacht wird, so lassen sich auch die magnetischen Verhältnisse durch entsprechende Curvensysteme darstellen. Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus an irgend einem Orte der Erde ausübt, ist durch Declination, Inclination und Intensität bestimmt, und dem entsprechend hat man auf Karten drei verschiedene Systeme magnetischer Curven aufgetragen, welche man die isogonischen, die isoklinischen und die isodynamischen genannt hat.

Die isogonischen Linien sind diejenigen, für welche in allen Punkten die Declination dieselbe ist; solche Karten, in welche man die isogonischen Linien aufgetragen hat, nennt man Declinationskarten. Die erste Karte der Art hatte Halley im Jahre 1700 construirt. Da die Elemente des Erdmagnetismus fortwährend sich ändern, so kann eine solche Karte den Lauf der isogonischen Linien nur für eine bestimmte Zeit angeben; in der That weicht die von Hansteen für das Jahr 1780 entworfene Declinationskarte schon sehr bedeutend von der Halley'schen ab, und jetzt ist natürlich der Lauf der isogonischen Linien nicht mehr derselbe, wie er im Jahre 1780 war. Die neuesten Declinationskarten sind von Adolph Ermann und Barlow entworfen. Ermann hat die isogonischen Linien nach den in den Jahren 1827 bis 1830 beobachteten Werthen der Declination construirt; Barlow's Karte ist für das Jahr 1833 entworfen.

Die Karten Fig. 277, 278 und 279 (a. f. S.) stellen die isogonischen Linien dar, wie sich ihr Lauf aus den nach der Gauß'schen Theorie des Erdmagnetismus, von der alsbald die Rede sein wird, berechneten Werthen der Declination ergiebt, und zwar für den Erdgürtel zwischen dem 80. Grade nördlicher und dem 60. Grade südlicher Breite in Aequatorial-Projection, für die Umgebungen der Pole aber, in Polarprojection dargestellt, wie dies auch bei den folgenden Inclinations- und Intensitätskarten der Fall ist.

Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine solche Linie, auf welcher überall die Richtung der horizontalen Magnetnadeln mit der Richtung des astronomischen Meridians zusammenfällt, schneidet die östliche Spitze von Südamerika ab, läuft östlich von Westindien durch den atlantischen Ocean, um in der Gegend von Philadelphia in den Continent von Nordamerika einzutreten und durch die Hudsonsbai hindurch zu laufen; dann passirt diese Linie ohne Abweichung den magnetischen und den astronomischen Nordpol der Erde, tritt östlich vom weißen Meere in den Continent der alten Welt ein, geht durch das caspische Meer, schneidet die Ostspitze von Arabien ab, wendet sich dann nach Neuholland, um endlich durch den magnetischen und astronomischen Südpol der Erde in sich selbst zurückzulaufen.

In der Karte Fig. 277 erscheinen zwei Stücke dieser Linie getrennt von einander; die Verbindungsstücke dieser beiden Theile kann man auf den Karten Fig. 278 und 279 verfolgen.

Diese Linie ohne Abweichung, welche um die ganze Erde herumläuft, theilt die Erdoberfläche in zwei Theile; auf der einen Hälfte, nämlich auf dem atlanti-

ſchen Ocean, in Europa und Afrika, iſt die Abweichung der Magnetnadel überall eine weſtliche; auf der anderen Hälfte iſt die Abweichung öſtlich, mit Ausnahme einer kleinen Strecke im öſtlichen Aſien und dem angränzenden Meere, denn hier findet ſich eine zweite in ſich ſelbſt zurücklaufende Linie, für welche

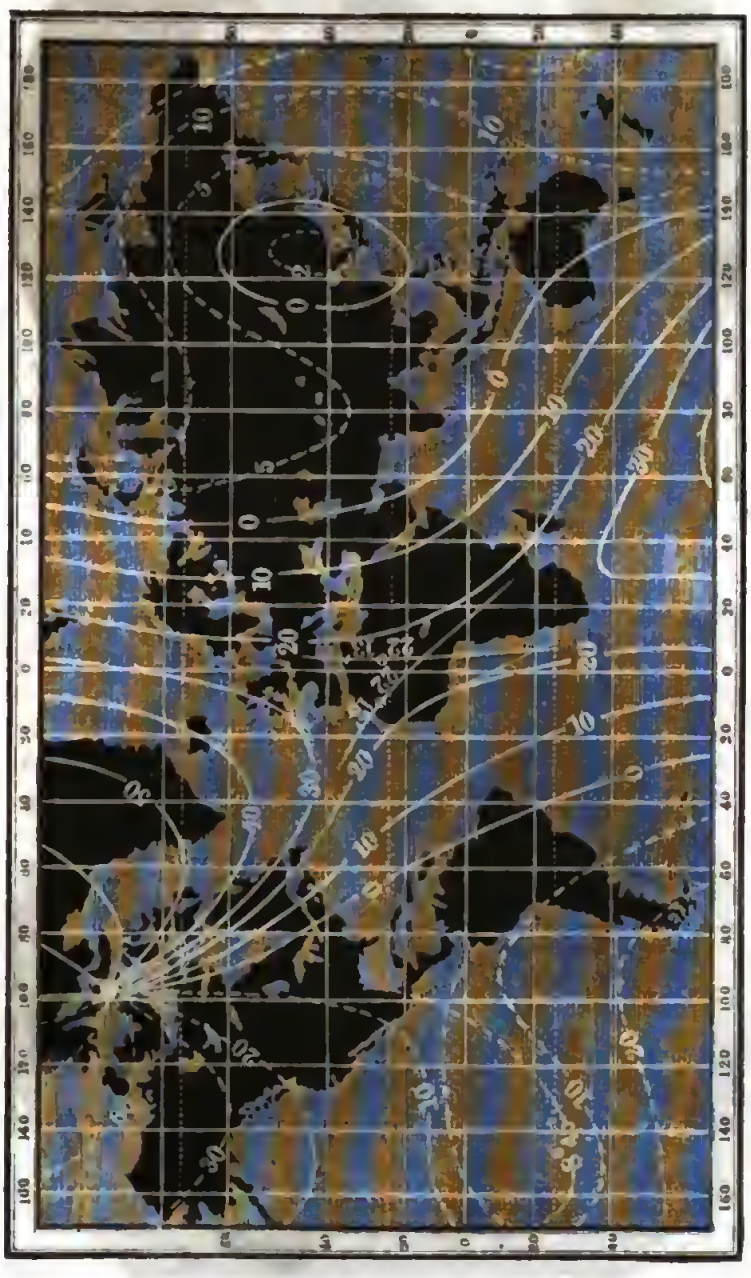


Fig. 277.

die Abweichung Null iſt, und auf dem durch dieſe Curve eingeſchloſſenen Raume iſt die Abweichung wieder weſtlich.

In unſeren Karten ſind alle Curven öſtlicher Abweichung punktirt; die

Fig. 278.

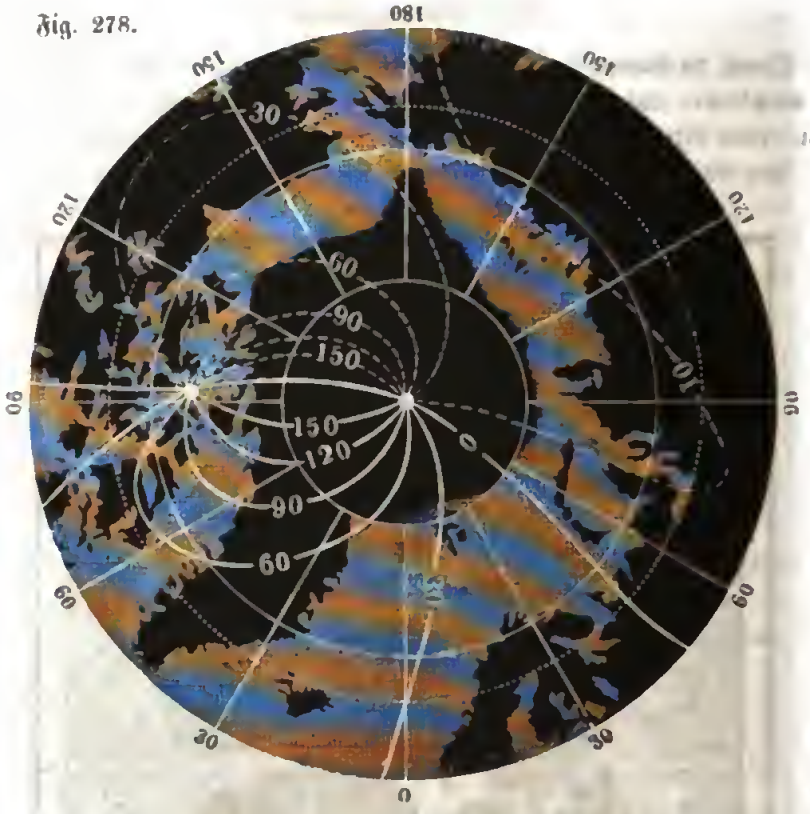
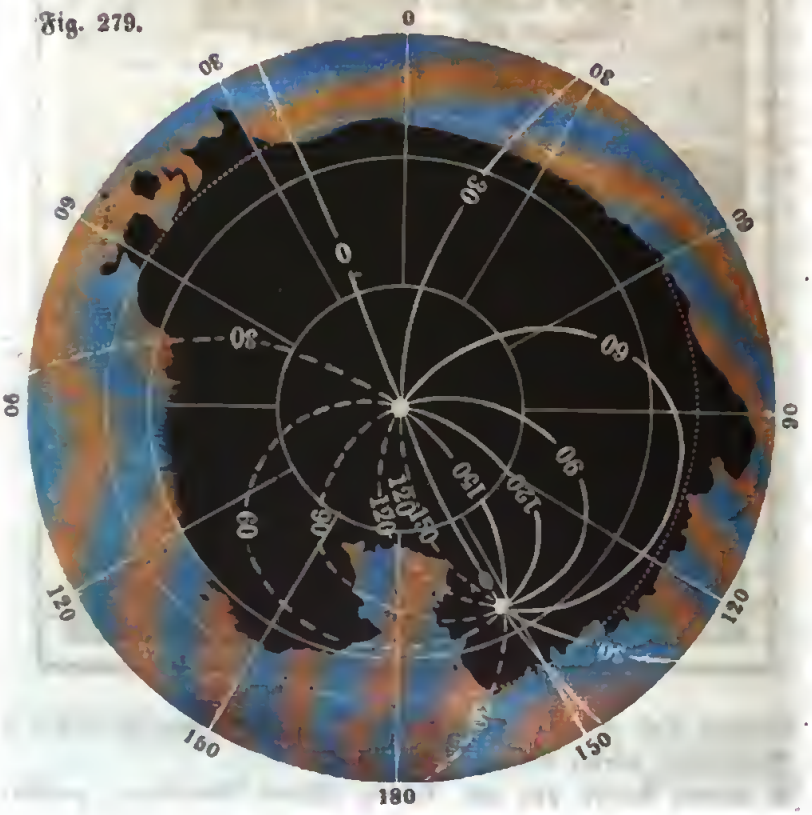


Fig. 279.



Größe der Declination, welche einer jeden Curve entſpricht, iſt ſtets beigeſchrieben.

In der Nähe der Pole bilden die iſogoniſchen Linien ein ziemlich complicirtes Syſtem, indem ſie in zwei Punkten, nämlich in dem magnetiſchen und in dem aſtronomiſchen Pole, zuſammenlaufen; dies rührt jedoch nicht daher, daß die magnetiſchen Erſcheinungen in jenen Gegenden ſo complicirt ſind, ſondern nur daher, daß bei der Beſtimmung der Declination ein dem Magnetismus ſelbſt eigentlich ganz fremdes Element, nämlich die Richtung des aſtronomiſchen Meridians, in Betrachtung zu ziehen iſt; durch dieſe Einmiſchung geht die Einfachheit verloren. Der magnetiſche Pol, in welchem alle iſogoniſchen Linien zuſammenlaufen, iſt allerdings ein magnetiſch ausgezeichneter Punkt; denn denken wir uns ganz in der Nähe dieſes Pols um denſelben einen Kreis gezogen, ſo wird für alle Punkte dieſes Kreiſes die horizontale Magnetnadel nach dieſem Pole hin gerichtet ſein; der Nordpol und der Südpol der Erde ſind aber durchaus keine magnetiſch ausgezeichneten Punkte, obgleich die iſogoniſchen Linien ſich in dieſen Polen ſchneiden; ſehen wir nun, woher dies kommt. Auf dem Nordpole ſelbſt fällt die Richtung der horizontalen Magnetnadel ſehr nahe mit der Richtung des 60. Längengrades zuſammen; in der Nähe dieſes Pols rings um denſelben herum wird nun die Magnetnadel faſt ganz dieſelbe Richtung haben, rings um den Pol herumgehend wird man aber deshalb der Reihe nach alle möglichen Werthe der Declination finden, weil alle Mittagslinien nach dem Pole convergiren; eine und dieſelbe Richtung der Magnetnadel macht alſo verſchiedene Winkel mit den von allen Seiten her nach dem Pole zuſammenlaufenden Meridianen.

Aehnliche Verwickelungen werden wir bei den folgenden Karten nicht wiederfinden.

Dieſe ſcheinbare Verwickelung verſchwindet auch, wenn man zur Darſtellung der Declinationsverhältniſſe der Erdoberfläche ein anderes Curvenſyſtem wählt, wie es Duperrey bei der Conſtruction ſeiner magnetiſchen Meridiane und Parallelen gethan hat.

Denken wir uns, daß man von irgend einem Orte ausgehend in der Richtung reiſte, nach welcher das Nordende der Magnetnadel hinweiſt, und daß man dann ſtets der Richtung der Declinationsnadel folgt, ſo wird der Weg, den man zurücklegt, ein magnetiſcher Erdmeridian ſein. Von Brüſſel ausgehend, würde man auf dieſe Weiſe öſtlich von England, Schottland und Island vorbeikommen und durch Grönland nach Boothia Felix gelangen. Von St. Helena ausgehend käme man auf dieſe Weiſe nach dem grünen Vorgebirge, über die canariſchen Inſeln und die Azoren an der Südſpitze von Grönland vorbei, endlich ebenfalls, nach Boothia Felix, wie man dies leicht auf der Karte Tab. XXIV. verfolgen kann, auf welche eine Reihe von magnetiſchen Erdmeridianen nach Duperrey aufgetragen ſind, deſſen Karten die magnetiſchen Meridiane für 1836 darſtellen.

Tab. XXV. enthält die magnetiſchen Meridiane für die Umgebungen des Nordpols, Tab. XXVI. für die Umgebungen des Südpols.

In dieſe Karten ſind außerdem noch die Linien ohne Ablenkung nach den Gauß-Weber'ſchen Karten eingetragen, und diejenigen Gegenden blau angelegt, an welchen die Declination eine weſtliche iſt.

Die magnetiſchen Meridiane geben unmittelbar die Richtung der Declinationsnadel für diejenigen Orte an, durch welche ſie laufen. So ſehen wir aus dem Laufe der entſprechenden Curve, daß zu Brüſſel die Declination eine weſtliche iſt, daß ungefähr unter dem 76. Grade nördlicher Breite an den Weſtküſten von Grönland die Nadel gerade nach Weſten zeigt, und daß in Port Bowen daſſelbe Ende der Declinationsnadel, welches wir das Nordende nennen, nach Südweſten, daß es auf der Melville-Inſel nach Südoſten gerichtet iſt.

Alle magnetiſchen Erdmeridiane laufen in dem magnetiſchen Nordpole, und dann wieder in dem magnetiſchen Südpole der Erde zuſammen.

Solche Curven, welche das Syſtem der magnetiſchen Meridiane ſtets rechtwinklig durchſchneiden, nennt Duperrey magnetiſche Parallele. In unſeren Karten finden ſich auch einige derſelben eingetragen.

Die Linien ohne Abweichung laufen natürlich durch die nördlichen und durch die ſüdlichen Wendepunkte der magnetiſchen Parallele, und durch die öſtlichen und weſtlichen Wendepunkte der magnetiſchen Meridiane.

Die Karten Fig. 280, 281 und 282 (a. f. S.) ſtellen den Lauf der iſokliniſchen Linien dar. Die iſokliniſchen Linien verändern ſich im Laufe der Zeit wie die iſogoniſchen. Die erſte Inclinationskarte wurde im Jahre 1780 von Hanſteen conſtruirt; der jetzige Lauf der iſokliniſchen Linien weicht ſchon bedeutend von der damaligen Lage dieſer Linien ab.

Die Linie auf der Erdoberfläche, für welche die Inclination gleich 0 iſt, auf welcher alſo die Inclinationsnadel wagerecht ſteht, iſt der magnetiſche Aequator. Nördlich vom magnetiſchen Aequator iſt das Nordende, ſüdlich von demſelben iſt das Südende der Inclinationsnadel nach unten gerichtet.

Die magnetiſchen Pole der Erde ſind diejenigen Stellen der Erdoberfläche, auf welchen die Inclinationsnadel vertical ſteht, wo alſo der horizontale Antheil der magnetiſchen Erdkraft ganz verſchwindet. Solcher magnetiſchen Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche, nämlich einen nördlichen und einen ſüdlichen. Nach der Gauß'ſchen Theorie liegt der nördliche magnetiſche Pol 3° 30′ nördlich von dem Orte, wo ihn der Capitain Roß fand; beim ſüdlichen magnetiſchen Pole wird man, wie Gauß bemerkt, wohl noch eine bedeutend größere Verſchiebung zu erwarten haben.

Man kann ſich über dieſe Differenzen zwiſchen der Rechnung und der Beobachtung nicht wundern, wenn man bedenkt, daß die Data, welche Gauß zur Ausführung ſeiner Theorie zu Grunde legen konnte, ſelbſt mehr oder weniger ungenau ſind, daß die Angaben verſchiedener Beobachter für einen und denſelben Ort oft zu bedeutend differiren, als daß man annehmen könnte, dieſe Unterſchiede ſeien den Veränderungen der erdmagnetiſchen Kraft im Laufe der wenigen Jahre zuzuſchreiben, welche zwiſchen den Beobachtungszeiten beider liegen.

Die Größe der entſprechenden Inclination iſt jeder Curve unſerer Figuren beigeſchrieben. Die magnetiſchen Pole ſind in Fig. 280 und 282 durch ſtärkere

weiße Punkte bezeichnet; es sind dies dieselben Punkte, in welchen die Declinationscurven in Fig. 278 und 279 zusammenlaufen.

Die beiden magnetischen Pole der Erde liegen einander nicht diametral gegenüber, d. h. eine die beiden Pole verbindende gerade Linie geht nicht durch

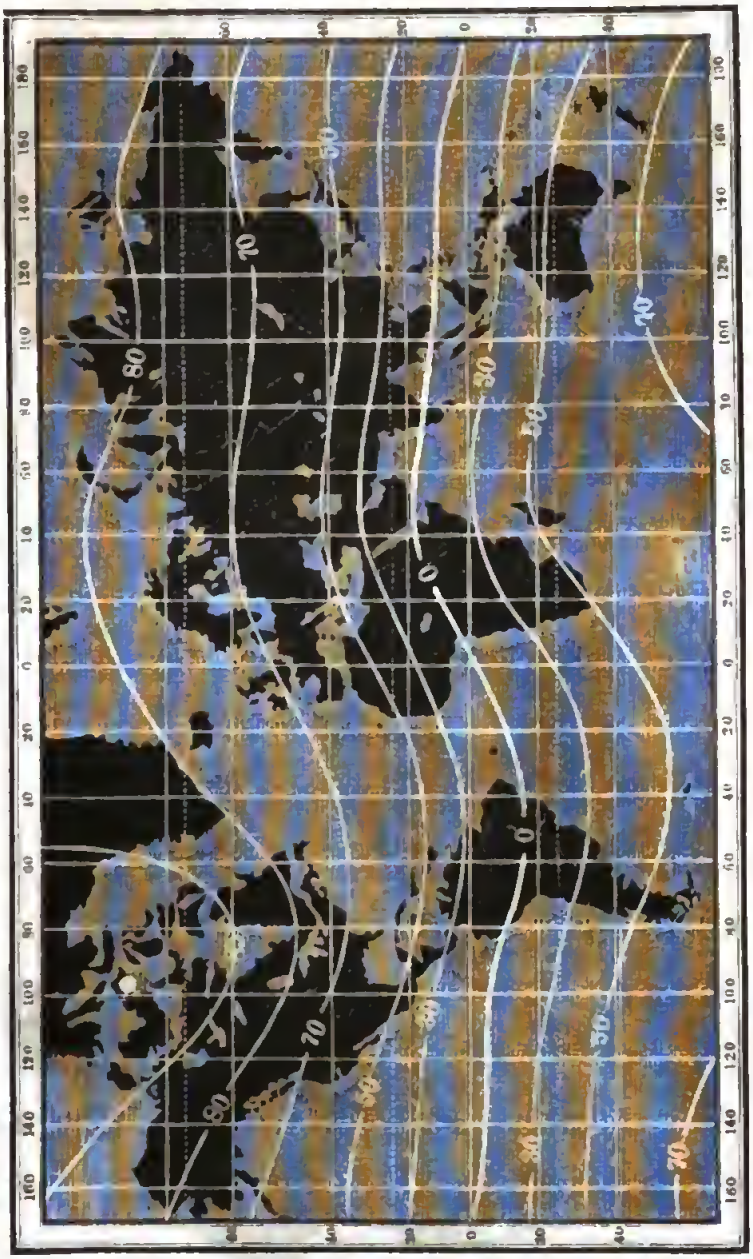


Fig. 280.

den Mittelpunkt der Erde, sondern diese Linie bildet eine Sehne, welche von dem durch die beiden astronomischen Pole gelegten größten Kreise einen Bogen von 161° 13′ abschneidet.

Fig. 281.

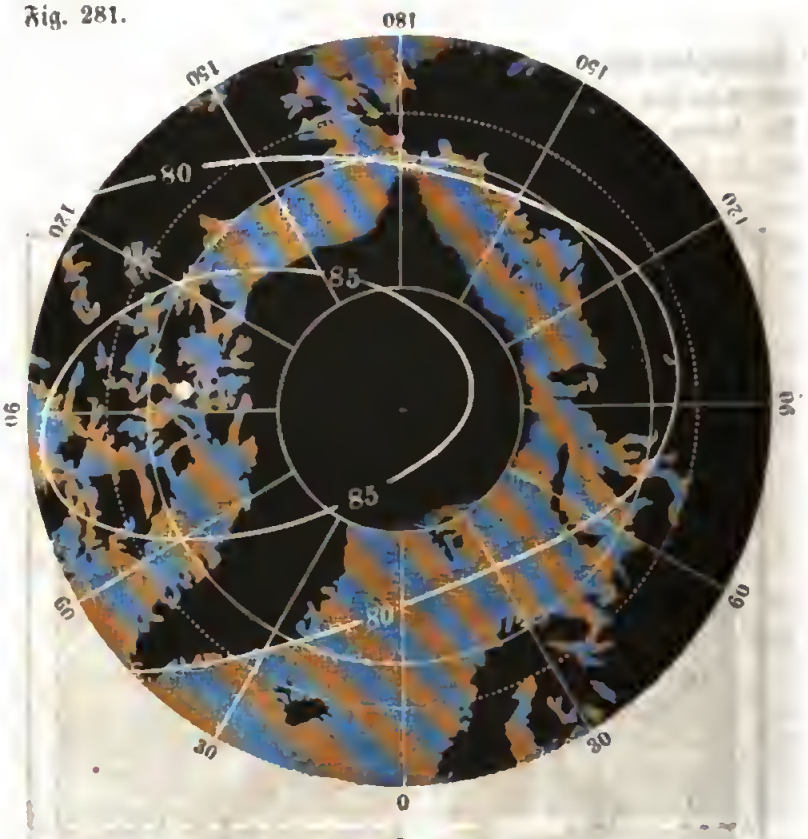
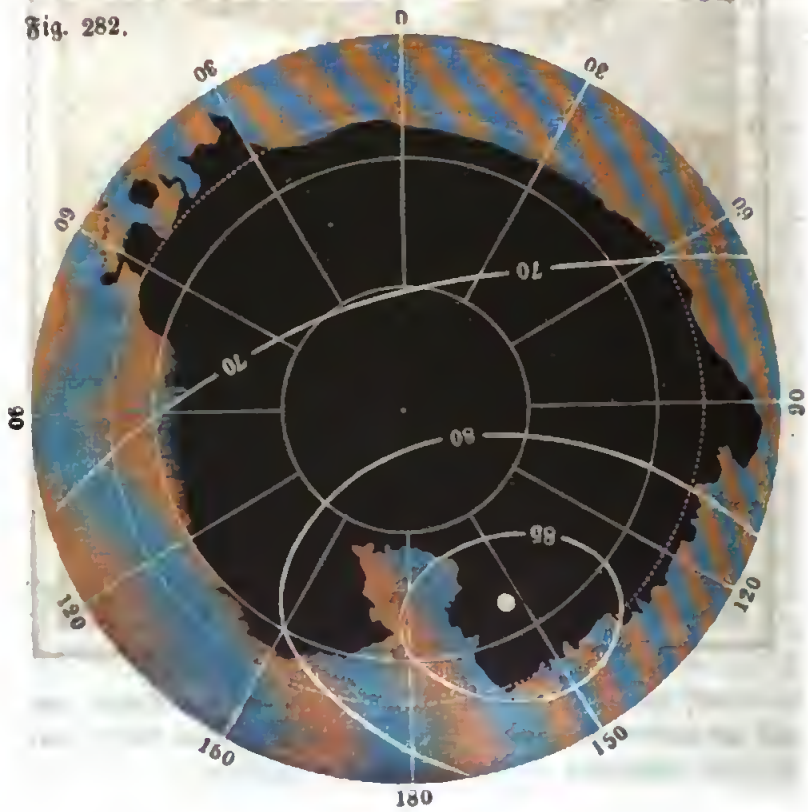


Fig. 282.



In den Karten Fig. 283, 284 und 285 sind die isodynamischen Linien nach den berechneten Werthen der ganzen Intensität aufgetragen. Man sieht, daß es auf der nördlichen Halbkugel zwei Orte giebt, an welchen die Intensität ein Maximum, d. h. größer ist als in allen rund herum gelegenen Orten;

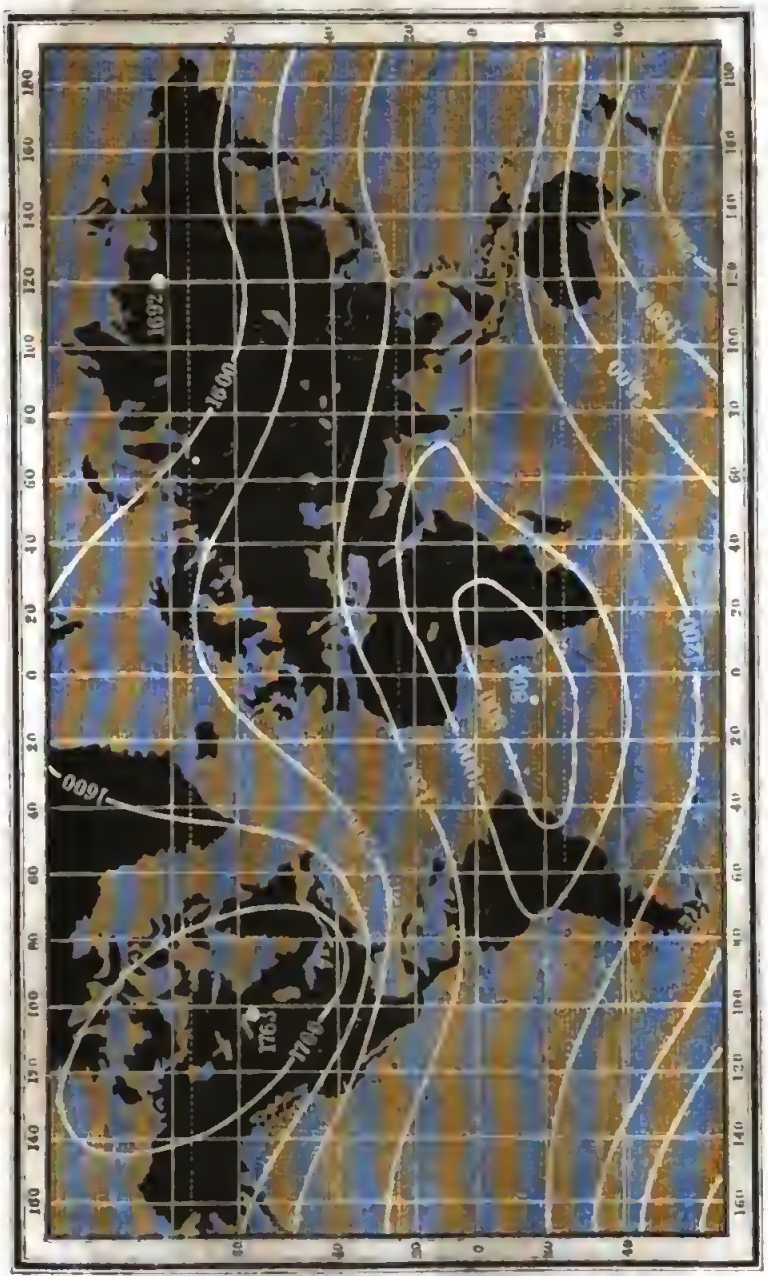


Fig. 283.

ein solches Maximum der Intensität findet sich in Nordamerika etwas westlich von der Hudsonsbai, Fig. 283, ein zweites im nördlichen Asien, Fig. 284. Dieser Umstand hat einige Gelehrte veranlaßt, die Existenz von zwei magne-

Fig. 284.

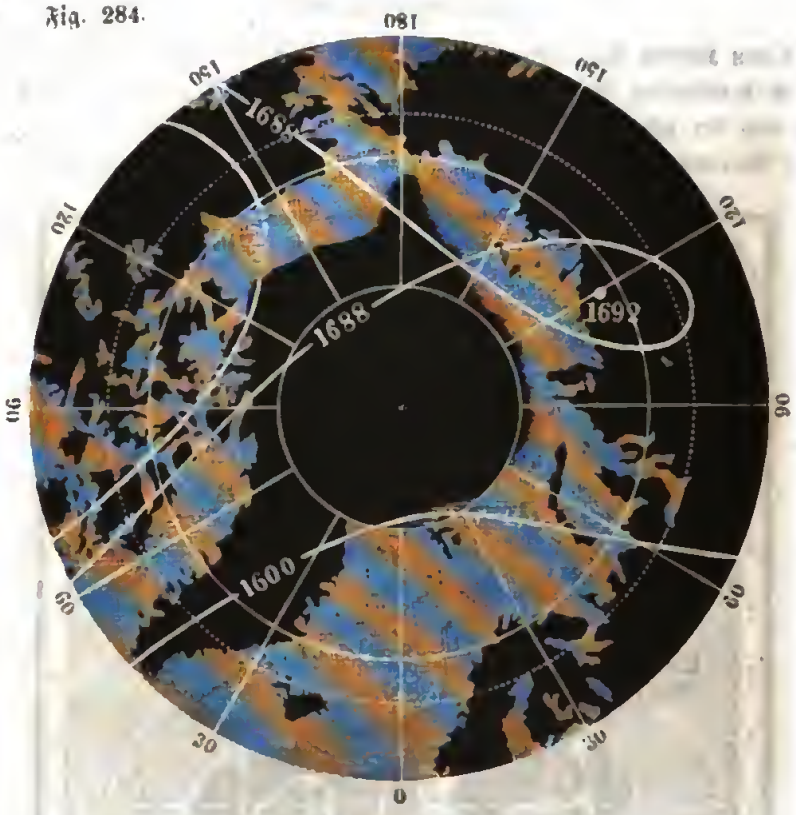
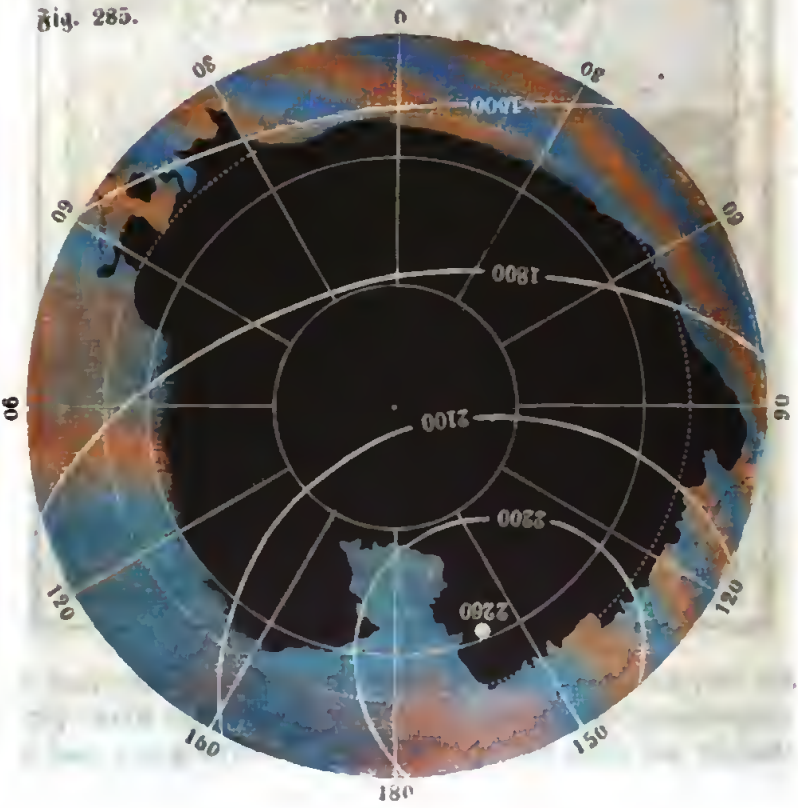


Fig. 285.



tiſchen Polen auf der nördlichen Halbkugel anzunehmen; um zu entſcheiden, ob dies wirklich der Fall iſt, muß man vor allen Dingen feſtſtellen, was man unter einem magnetiſchen Pole der Erde verſteht. Gewöhnlich nennt man, wie wir es auch gethan haben, diejenigen Orte der Erdoberfläche magnetiſche Pole, an welchen der horizontale Theil der Erdkraft verſchwindet; man könnte aber unter einem magnetiſchen Pole auch eine ſolche Stelle verſtehen, für welche die Intenſität des Magnetismus ein Maximum iſt. Dieſe beiden Begriffe ſind aber nun durchaus nicht identiſch, es kann an einem Orte die horizontale Compoſante des Erdmagnetismus verſchwinden, die Inclinationsnadel kann ſich verticat ſtellen, ohne daß deshalb hier auch ein Maximum der Intenſität zu finden iſt; umgekehrt kann an einem Orte die Intenſität des Erdmagnetismus ſehr wohl ein Maximum ſein, ohne daß ſich die Inclinationsnadel vertical ſtellt.

Nimmt man das Wort Pol im gewöhnlichen Sinne, ſo giebt es nur einen magnetiſchen Nordpol. An dieſem Pole iſt die Intenſität des Erdmagnetismus kein Maximum; an den beiden Orten aber, für welche die Intenſität ein Maximum iſt, ſtellt ſich die Inclinationsnadel nicht vertical, dieſe Orte ſind alſo nach unſerer Begriffsbeſtimmung keine magnetiſchen Pole.

Die den iſodynamiſchen Linien beigeſchriebenen Zahlen geben den Werth der Intenſität nicht nach dem ſchon im erſten Theile beſprochenen abſoluten Maße, ſondern nach der bisher üblichen willkürlichen Einheit an, nach welcher die Intenſität für London 1,372 iſt; nur ſind dieſe Zahlen, um Brüche zu vermeiden, noch mit 1000 multiplicirt. Um die Zahlen unſerer Karte auf das abſolute Maß zu reduciren, ſind ſie nur mit 0,0034941 zu multipliciren.

Lamont's magnetiſche Karten. Die eben beſprochenen Karten **213**
ſtellen den magnetiſchen Zuſtand der Erde um das Jahr 1830 dar; jetzt, alſo mehr als zwanzig Jahre ſpäter, hat ſich der Lauf der magnetiſchen Curven ſchon merklich geändert, und zwar iſt dieſe Aenderung für die Declination am merklichſten, denn ſie iſt in Deutſchland gegenwärtig gegen 4° kleiner als nach den eben beſprochenen Karten.

Seit Gauß und Weber ihren Atlas des Erdmagnetismus veröffentlicht haben, ſind keine neueren magnetiſchen Erdkarten erſchienen. Dagegen hat Lamont auf neuere genaue Beſtimmungen gegründete Declinations-, Inclinations- und Intenſitätskarten von Deutſchland, auf ſeine eigenen zahlreichen Meſſungen baſirte magnetiſche Karten von Baiern und dem ſüdweſtlichen Deutſchland, publicirt (Magnetiſche Karten von Deutſchland und Baiern von Lamont, München 1854).

In Fig. 286 (a. f. S.) iſt die Lamont'ſche Declinationskarte von Deutſchland in kleinerem Maßſtabe wiedergegeben. Die durch München gehende, oben und unten mit 0 bezeichnete Curve verbindet alle Orte, welche mit München gleiche Declination haben. Die nach Weſten hin zunächſt liegende mit + 1° bezeichnete geht über diejenigen Orte, deren weſtliche Declination um 1° größer iſt als die Declination von München; ebenſo entſprechen die mit + 2°, + 3° u. ſ. w. bezeichneten Curven einer um 2 Grad, 3 Grad größeren u. ſ. w., und

Fig. 286.

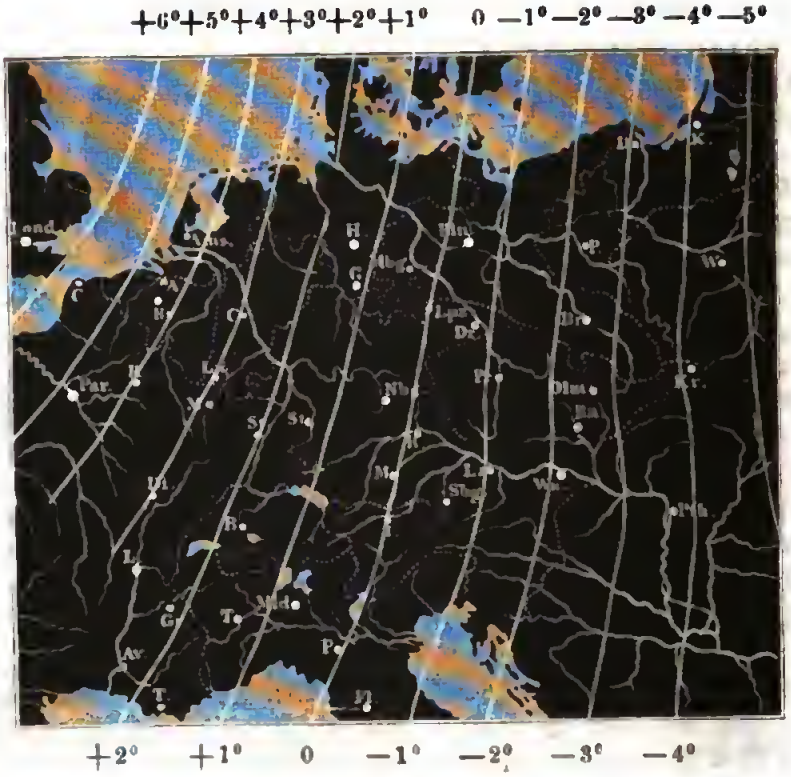


Fig. 287.

die mit — 1°, mit — 2°, — 3° u. ſ. w. bezeichneten einer um 1, 2 und 3 Grad geringeren Declination.

Im Jahre 1852 betrug die Declination für München 15° 40′. Für daſſelbe Jahr beträgt alſo die Declination für Luxemburg 18° 40′. Für Wien iſt der Karte zufolge die Declination ungefähr 2° 20′ kleiner als zu München, ſie iſt alſo für Wien im Jahre 1852 gleich 13° 20′ u. ſ. w.

Aehnlich iſt die Einrichtung der Karte Fig. 287, welche die iſokliniſchen Linien enthält. Für die mit + 1°, + 2°, + 3° bezeichneten Curven dieſer Karte iſt die Inclination um 1, 2, 3° größer, für die mit — 1°, — 2°, — 3° bezeichneten aber iſt ſie um 1, 2, 3 Grad kleiner als die Inclination zu München, welche im Jahre 1852 64° 54′ betrug.

Dieſer Karte zufolge iſt alſo die Inclination für 1852 zu Stralſund ungefähr 68° 54′. Für Breslau iſt ſie nahe $1^1/_2$ Grad größer, für Mailand iſt ſie etwas mehr als $1^1/_2$ Grad kleiner als für München.

Die dritte Karte endlich, Fig. 288, enthält die Curven gleicher horizontaler Intenſität. Die durch München gehende Curve, iſt auch hier mit 0 be-

Fig 288.

zeichnet; auf den übrigen Curven iſt die nach abſolutem Maß gemeſſene horizontale Intenſität um den am Rande angegebenen Werth größer oder kleiner als zu München. Die horizontale Intenſität iſt alſo zu Paris, Frankfurt und Warſchau um 0,10, zu Trieſt iſt ſie um 0,125 größer als zu München, wo ſie im Jahre 1852 den Werth 1,9508 hatte.

Ganz ähnlich ist nun auch die Einrichtung der von Lamont bearbeiteten magnetischen Karten von Baiern und dem südwestlichen Deutschland, jedoch beträgt die Declinationsdifferenz je zweier auf einander folgenden Declinationscurven 10′. Ebenso entsprechen die Intervalle der Inclinationskarte von Baiern einer Inclinationsänderung von 10 Minuten. Auf den Intensitätskarten von Baiern entspricht der Intervall je zweier auf einander folgender Curven einer Aenderung der absolut horizontalen Intensität von 0,01.

Bei einem solchen Maßstab treten dann auch locale Störungen deutlich hervor. Während z. B. im Durchschnitt der Abstand je zweier benachbarter Declinationscurven ungefähr 4 Meilen beträgt, rücken etwas westlich von Karlsruhe die Curven + 1°50′ und + 2° bis auf 1 Meile zusammen; dagegen rücken die Declinationscurven + 1°30′ und 1°40′ bei Darmstadt, welches zwischen denselben liegt, bis auf 8 Meilen auseinander. Eine ähnliche Erweiterung zeigt sich zwischen Bamberg und Baireuth, und eine noch bedeutendere zwischen Salzburg und dem westlichen Ende des Chiemsees.

Die Inclinations- und Intensitätscurven zeigen die größten Unregelmäßigkeiten in der baierischen Pfalz, namentlich in der Nähe von Pirmasenz.

Es wäre in der That sehr zu wünschen, daß Lamont's Beispiel in anderen Ländern Nachahmung fände; solche magnetische Specialkarten würden die sichersten Anhaltspunkte zur Construction magnetischer Erdkarten geben, wie sie denn überhaupt ein reichliches Material für fernere Untersuchungen über Erdmagnetismus bieten.

214 **Theorie des Erdmagnetismus.** Die einfachste und älteste Hypothese, welche zur Erklärung der Erscheinungen des Erdmagnetismus aufgestellt wurde, ist die, einen kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde anzunehmen, oder vielmehr anzunehmen, der Magnetismus sei in der Erde so vertheilt, daß die Gesammtwirkung nach außen der Wirkung eines fingirten kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde gleich sei. Daß eine solche Annahme sich mit den Beobachtungen nicht verträgt, sieht man auf den ersten Blick. Nach dieser Hypothese wären die magnetischen Pole diejenigen Punkte der Erdoberfläche, in welchen dieselbe von der verlängerten Axe des Centralmagneten getroffen wird; in diesen Polen müßte zugleich die Intensität ein Maximum sein; der magnetische Aequator wäre ein größter Kreis, und alle isoklinischen Linien mit demselben parallel u. s. w. Tobias Mayer hat diese Hypothese dadurch modificirt, daß er den fingirten Magneten um den 7ten Theil des Erdhalbmessers von dem Mittelpunkte der Erde entfernt annahm; Hansteen versuchte, die Erscheinungen durch die Annahme von zwei kleinen Magneten von ungleicher Lage und Stärke zu erklären. Alle diese Versuche gaben jedoch keine genügenden Resultate.

Gauß hat endlich einen anderen Weg eingeschlagen, indem er nicht, wie seine Vorgänger, von einer einfachen Hypothese über die magnetische Vertheilung in der Erde ausging und dann die Resultate dieser Hypothese mit der Erscheinung verglich, sondern er suchte gleich die Frage zu beantworten: wie muß dieser große Magnet beschaffen sein, um den Erscheinungen Genüge zu leisten?

Die Gauß'ſche Theorie läßt ſich ohne Hülfe höherer Rechnung nicht entwickeln, da es ſich hier darum handelt, das Zuſammenwirken aller magnetiſchen Kräfte, die keineswegs gleichförmig und regelmäßig vertheilt ſind, in mathematiſchen Formen darzuſtellen; wir müſſen uns alſo darauf beſchränken, die Grundideen dieſer Theorie anzudeuten.

Die Grundlage der Gauß'ſchen Theorie iſt die Vorausſetzung, daß die erdmagnetiſche Kraft die Geſammtwirkung der magnetiſirten Theile des Erdkörpers iſt. Das Magnetiſirtſein ſtellt er ſich als eine Scheidung der magnetiſchen Flüſſigkeit in der Weiſe vor, wie wir dies im Lehrbuche der Phyſik, 5. Aufl. Bd. II., S. 6, entwickelt haben. Eine Vertauſchung dieſer Vorſtellungsart mit der Ampère'ſchen würde in den Reſultaten nichts ändern. Dies vorausgeſetzt, wird die Geſammtheit aller magnetiſirten Theile des Erdballs auf jeden Punkt im Raume eine beſtimmte Wirkung ausüben, und dieſe Wirkung wird von einem Punkte des Raumes zum anderen ſich ändern müſſen. Wir haben hier nur diejenigen Punkte des Raumes zu betrachten, welche auf der Erdoberfläche liegen. Zunächſt iſt demnach klar, wie auch der freie Magnetismus im Inneren der Erde vertheilt ſein mag, die Wirkung wird in verſchiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht dieſelbe ſein, ſie wird von der geographiſchen Länge und Breite des Ortes abhängen, den man gerade betrachtet. Die Wirkungen des Erdmagnetismus müſſen ſich alſo durch Gleichungen ausdrücken laſſen, in denen die Länge und die Breite die veränderlichen Größen ſind; die Conſtanten dieſer Gleichungen aber hängen von der Art und Weiſe ab, wie der freie Magnetismus in der Erde vertheilt iſt.

Zunächſt entwickelt Gauß auf dieſe Weiſe eine Gleichung für den Werth des magnetiſchen Potentials, einer Größe, aus welcher ſich die Werthe der nördlichen, weſtlichen und verticalen Compoſante der erdmagnetiſchen Kraft und aus dieſen dann wieder Declination, Inclination und totale Intenſität leicht berechnen laſſen.

Das magnetiſche Potential, welches alſo zunächſt als eine wichtige Hülfsgröße für die Berechnung des Erdmagnetismus dient, hat aber auch eine phyſikaliſche Bedeutung. Denken wir uns an irgend einer Stelle der Erdoberfläche eine verticale Röhre angebracht, deren Querſchnitt 1 Quadratmillimeter beträgt, und dieſe Röhre bis zu einer Höhe, in welcher die Wirkung des Erdmagnetismus unmerklich wird, mit nordmagnetiſchem Fluidum in der Weiſe gefüllt, daß jedes Cubikmillimeter 1 Maaß (nach der bekannten abſoluten Einheit des Fluidums) enthält, ſo ſtellt uns das magnetiſche Potential den Druck dar, welchen der Boden dieſer Röhre dadurch auszuhalten hat, daß der Erdmagnetismus die in der Röhre enthaltene Flüſſigkeit anzieht; da, wo das nordmagnetiſche Fluidum von dem Erdmagnetismus abgeſtoßen werden würde, hat man ſich die Röhre in gleicher Weiſe mit ſüdmagnetiſchem Fluidum gefüllt zu denken.

In den Karten Fig. 289, 290 und 291 (a. f. S.) ſind die Linien gleicher Werthe des magnetiſchen Potentials dargeſtellt; die beigeſchriebenen Zahlen beziehen ſich nicht auf abſolutes Maß, ſondern auf eine willkürliche Einheit;

ſie können durch Multiplication mit 0,0034941 auf abſolutes Maß reducirt werden.

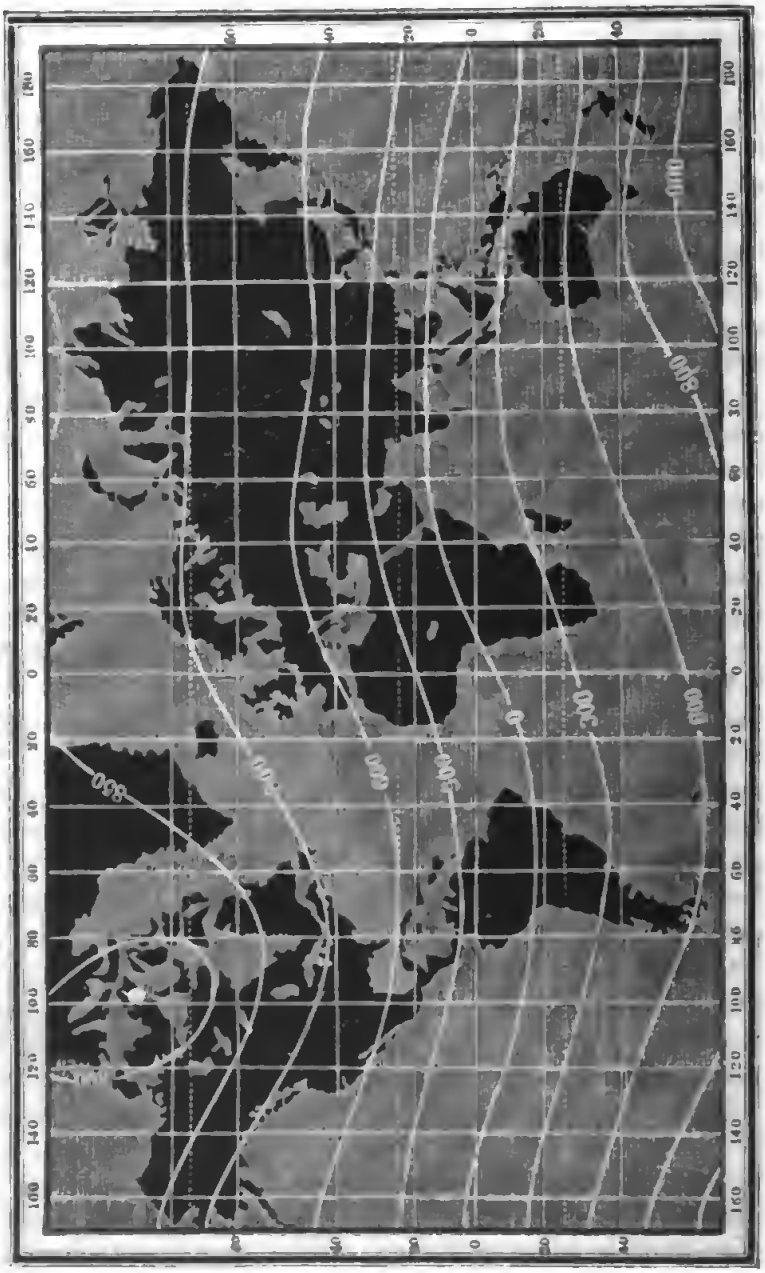


Fig. 289.

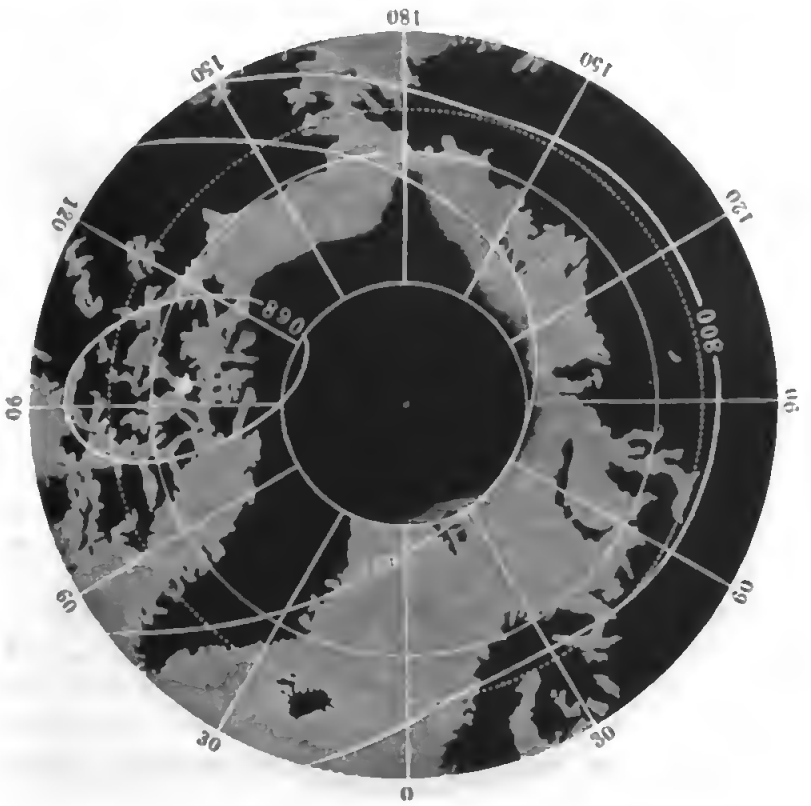
Die Curven gleicher Werthe des magnetiſchen Potentials wollen wir Gleichgewichtslinien nennen.

Aus dem Laufe der Gleichgewichtslinien ergiebt ſich die Richtung der horizontalen Magnetnadel auf eine ſehr einfache Weiſe, indem, wie Gauß gezeigt

hat, die Richtung der Declinationsnadel ſtets rechtwinklig auf den Gleichgewichtslinien ſtehen muß. Aus dem Laufe dieſer Curven kann man die Richtung der Bouſſole für jeden Ort der Erdoberfläche auf eine ungleich einfachere und überſichtlichere Weiſe ableiten, als es mittelſt der Declinationskarte möglich iſt.

Zwiſchen den Werthen des magnetiſchen Potentials und der horizontalen Intenſität findet folgende Beziehung Statt. Denken wir uns auf einer Karte nur ſolche Gleichgewichtslinien gezogen, welche gleichen Differenzen des magnetiſchen Potentials entſprechen, etwa nur ſolche Curven, welche den immer um 100 wachſenden Werthen des magnetiſchen Potentials entſprechen, ſo iſt die horizontale Intenſität der Entfernung der Gleichgewichtscurven umgekehrt pro-

Fig. 290.



portional; die horizontale Intenſität iſt alſo für ſolche Gegenden am großten, für welche die Gleichgewichtslinien am dichteſten ſind; je weiter die gleichen Differenzen des Potentials entſprechender Curven auseinanderrücken, deſto kleiner wird die horizontale Intenſität.

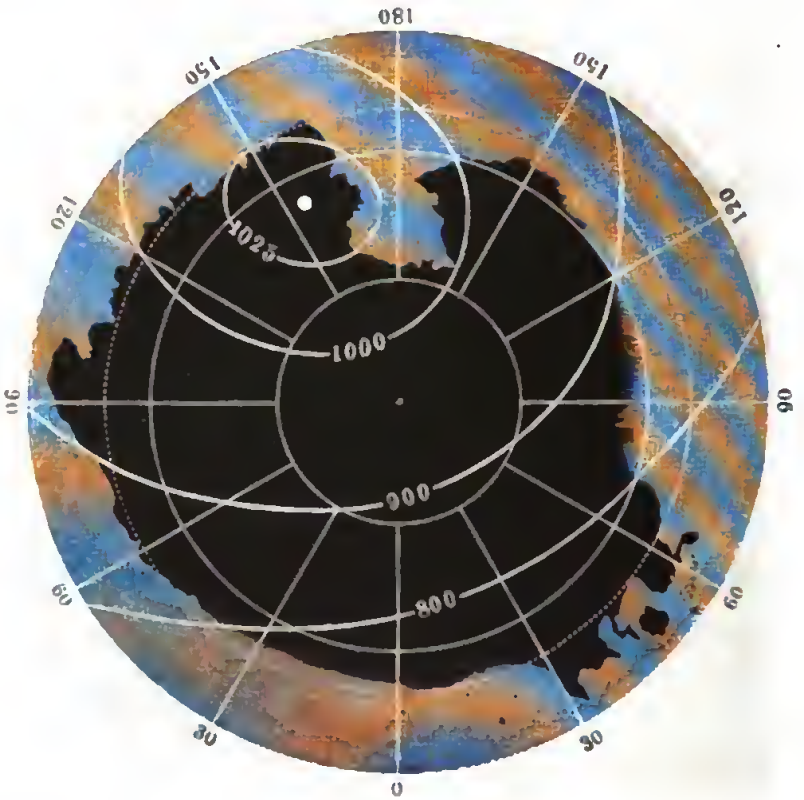
Aus der horizontalen Intenſität ergiebt ſich leicht die nördliche und weſtliche Compoſante, da ja durch den Lauf der Gleichgewichtslinien auch die Richtung der horizontalen magnetiſchen Kraft beſtimmt iſt.

Aus den Werthen des magnetiſchen Potentials ergeben ſich ferner die Werthe

der verticalen Intenſität; doch können wir dieſen Zuſammenhang hier nicht weiter verfolgen. Sind aber erſt die drei Compoſanten der erdmagnetiſchen Kraft beſtimmt, ſo kann man auch noch leicht die Größe und Richtung der ganzen Intenſität ermitteln.

Wenn man in den Werthen für das magnetiſche Potential und die drei Compoſanten der erdmagnetiſchen Kraft nur diejenigen Glieder noch berückſichtigt, welche mit den 4ten Potenzen der veränderlichen Größen (Länge und Breite) behaftet ſind, die höheren Potenzen aber vernachläſſigt, ſo bleiben in den Werthen noch 24 conſtante Coefficienten zu beſtimmen. Dieſe Coefficienten können wir nun nicht a priori aus der Vertheilung des freien Magnetismus in der Erde ableiten, weil wir ja noch nichts über die Art wiſſen, wie der freie

Fig. 291



Magnetismus vertheilt iſt; die 24 Coefficienten müſſen demnach durch die Combination von 24 verſchiedenen Beobachtungen beſtimmt werden. Die genaue Beſtimmung der 3 Elemente des Erdmagnetismus an 8 verſchiedenen Orten der Erdoberfläche würde alſo hinreichen, um die 24 Coefficienten zu ermitteln.

Sind einmal die conſtanten Coefficienten bekannt, ſo kann man nach den erwähnten Gleichungen die Werthe der drei Compoſanten der erdmagnetiſchen Kraft und folglich auch die Declination, die Inclination und die ganze Inten-

ſität für jeden Ort der Erdoberfläche berechnen, wenn man für die Länge und Breite die dieſem Orte entſprechenden Zahlenwerthe in die Gleichungen ſetzt.

Da es an einer hinlänglich genauen Beſtimmung aller drei Elemente des Erdmagnetismus für acht weit genug von einander entfernte Orte der Erdoberfläche fehlt, ſo muß man mehr Beobachtungen zu Hülfe nehmen, als eigentlich zur Beſtimmung der Coefficienten nöthig ſind. Auf dieſe Weiſe werden ſich für denſelben Coefficienten mehrere verſchiedene Werthe ergeben, und man hat alsdann nach der Methode der kleinſten Quadrate den wahrſcheinlichſten Mittelwerth für jeden Coefficienten zu ermitteln.

Die ſäcularen Variationen. Die Elemente des Erdmagnetismus für 215
irgend einen Ort auf der Erdoberfläche ſind keineswegs unveränderliche Größen, wie dies bereits im Lehrbuch der Phyſik beſprochen wurde. Wie bedeutend ſich die Declination ändert, ergiebt ſich z. B. aus der folgenden Tabelle:

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30′ öſtl.	1814	22° 34′ weſtl.
1618	8 »	1819	22 29 »
1663	0 »	1822	22 11 »
1770	8 10 weſtl.	1832	22 3 »
1780	19 55 »	1842	21 25 »
1805	22 5 »	1852	20 20 »

Man ſieht aus dieſer Tabelle, daß im Jahre 1580 in Frankreich die Declination noch eine öſtliche war, daß ſie abnahm und im Jahre 1663 Null wurde; in jenem Jahre alſo zeigte die Declinationsnadel zu Paris genau nach Norden. Von jener Zeit an war die Declination zu Paris eine weſtliche, und zwar ſtets zunehmend bis zum Jahre 1814, wo die weſtliche Declination zu Paris ein Maximum von 22° 34′ erreichte. Seit jener Zeit nimmt die weſtliche Declination zu Paris wieder ab, und im Jahre 1852 betrug ſie nur noch 20° 20′.

Solche, Jahrhunderte lang in gleichem Sinne fortdauernde Aenderungen im Stande der Magnetnadel werden mit dem Namen der *ſäcularen Schwankungen* bezeichnet. Man überſieht den Gang derſelben ſehr deutlich, wenn man die magnetiſchen Karten verſchiedener Zeiten mit einander vergleicht. Eine Declinationskarte für das Jahr 1600 (ſ. Gehler's phyſikaliſches Wörterbuch) zeigt eine Curve ohne Abweichung, welche in der Nähe von Bogota in Südamerika einen ſüdlichen Wendepunkt hat; ſie ſteigt im atlantiſchen Ocean raſch nach Norden und hat an der Küſte von Norwegen ungefähr unter dem 65. Grade nördlicher Breite ihren nördlichen Wendepunkt; von da wendet ſie ſich nach Petersburg, wo ſie ihren öſtlichen Wendepunkt erreicht, um dann über das Südende von Italien und den Meerbuſen von Guinea nach dem Cap der guten

Hoffnung zu gehen. Eine zweite Curve ohne Abweichung ging damals durch Korea, China und Borneo nach Neuholland.

Wie groß gegenwärtig die jährliche Aenderung der Declination für Deutschland iſt, erſieht man aus folgender Tabelle, welche nach Lamont die Declination zu München für den 1. Januar der folgenden Jahre ergiebt:

1841	16°	57,5′	1847	16°	17,4′
1842	16	50,4	1848	16	10,3
1843	16	43,4	1849	16	2,5
1844	16	37,1	1850	15	53,9
1845	16	30,4	1851	15	47,4
1846	16	23,5	1852	15	40,1

alſo im Durchſchnitt ungefähr eine Abnahme von $6\frac{1}{2}$ Minuten im Jahre.

Begreiflicher Weiſe iſt der Gang der ſäcularen Variationen der Declination in verſchiedenen Gegenden nicht derſelbe. So erreichte z. B. die Declination auf dem Cap der guten Hoffnung erſt im Jahre 1843 ihr weſtliches Maximum, während auf St. Helena noch gegenwärtig die weſtliche Declination ungefähr um 8′ jährlich zunimmt.

Man kann ſich dieſe Differenzen wohl erklären, wenn man bedenkt, daß das Curvenſyſtem im Allgemeinen gegenwärtig wenigſtens nach Weſten hin fortſchreitet.

Aehnliche ſäculare Aenderungen zeigt auch die Inclination, wie man aus folgender Tabelle ſieht:

Inclination für Paris.

Jahr.	Inclination.	Jahr.	Inclination.
1671	75°	1820	68° 20′
1780	71 48′	1825	68 0
1806	69 12	1831	67 40
1814	68 36	1835	67 24

und gegenwärtig beträgt die Inclination nicht mehr ganz 67 Grad.

Wie groß gegenwärtig die jährliche Aenderung der Inclination iſt, erſieht man aus folgender Tabelle, welche nach Lamont die Werthe der Inclination zu München für den Anfang der nachgenannten Jahre angiebt:

1841	65°	22,0′	1847	65°	7,0′
1842	65	19,5	1848	65	4,5
1843	65	17,0	1849	65	2,0
1844	65	14,5	1850	64	59,5
1845	65	12,0	1851	64	57,0
1846	65	9,5	1852	64	54,5

Die Abnahme der Inclination beträgt also in Deutschland ungefähr 2,3 Minuten im Jahre.

Auch die Variationen der Inclination halten in verschiedenen Ländern keineswegs gleichen Gang. Während sich in Europa gegenwärtig das Nordende der Inclinationsnadel allmälig hebt, nimmt die ungefähr 22° betragende südliche Inclination auf St. Helena ungefähr um 8 Minuten jährlich zu.

Was die Intensität anbelangt, so ist die Zeit, während welcher man diesem Element die nöthige Aufmerksamkeit gewidmet hat, zu kurz, um den Gang der säcularen Variationen desselben mit einiger Sicherheit zu übersehen. Die horizontale Intensität nimmt gegenwärtig in Deutschland zu, was aber wenigstens theilweise von der Abnahme der Inclination herrührt. Für München war die horizontale Intensität

Anfangs	1841	1,9300	Anfangs	1847	1,9417
»	1842	1,9339	»	1848	1,9432
»	1843	1,9373	»	1849	1,9437
»	1844	1,9374	»	1850	1,9523
»	1845	1,9374	»	1851	1,9549
»	1846	1,9397	»	1852	1,9508

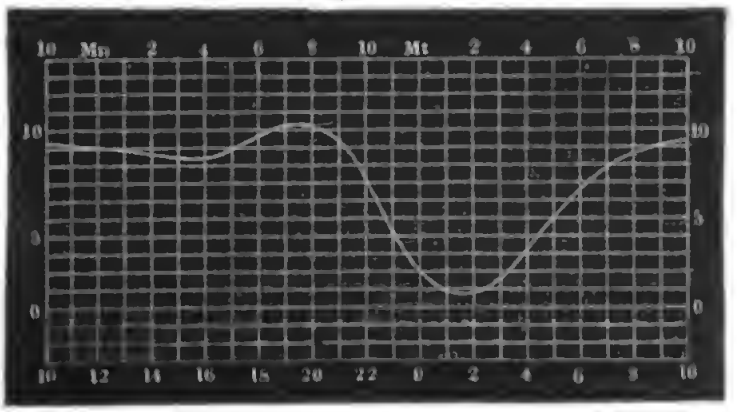
Bis jetzt ist man noch nicht im Stande, einen genügenden Grund für die säcularen Aenderungen der erdmagnetischen Constanten anzugeben.

Die täglichen Variationen. Die säcularen Aenderungen in der 216
Richtung der Magnetnadel gehen nicht in der Art vor sich, daß die Nadel sich ganz langsam und gleichförmig nach einer bestimmten Richtung hin fortbewegt, sondern die Magnetnadeln sind beständigen Schwankungen unterworfen, in welchen sich zunächst eine tägliche Periode ausspricht.

Was die Declination betrifft, so ist der Verlauf ihrer täglichen Variationen in Deutschland ungefähr folgender: Morgens um 8 Uhr hat die Declinationsnadel im Durchschnitt ihre östlichste Stellung; ziemlich rasch bewegt sich nun ihr Nordende gegen Westen und erreicht zwischen 1 und 2 Uhr ihren westlichen Wendepunkt, um dann wieder nach Osten hin zu wandern, und zwar in den Nachmittags- und Abendstunden schneller, während der Nachtstunden langsamer.

Dieser Gang der Declinationsnadel wird durch die Curve Fig. 292 an-

Fig. 292.



ſchaulich gemacht, welche den mittleren täglichen Gang der täglichen Variationen der Declinationsnadel zu Göttingen darſtellt. Die Abſciſſen ſind der Zeit, die Ordinaten den Variationen der Declination proportional, und zwar entſpricht der Abſtand zweier Verticalſtriche einem Zeitintervall von 1 Stunde, während der Abſtand zweier Horizontallinien einer Winkeldifferenz von 1 Minute entſpricht. — Am oberen Rande der Figur iſt die Zeit nach bürgerlicher, am unteren Rande iſt ſie nach aſtronomiſcher Weiſe gezählt.

Ein Steigen der Curve entſpricht einer nach Oſten, ein Sinken entſpricht einer nach Weſten gerichteten Bewegung des Nordendes der Nadel.

Die Amplitude der täglichen Bewegung der Magnetnadel, d. h. der Winkel zwiſchen ihrem öſtlichſten und ihrem weſtlichſten Stande, iſt veränderlich, und zwar iſt ſie im Allgemeinen von der Jahreszeit abhängig; ſie iſt größer im Sommer, kleiner im Winter. Folgendes ſind die Mittelwerthe dieſer Amplitude für die verſchiedenen Monate in Göttingen:

Januar . . .	6,7′	Juli	12,1′
Februar . . .	7,4	Auguſt . . .	13,0
März	11,9	September . .	11,8
April	13,9	October . . .	10,3
Mai	13,5	November . .	6,9
Juni	12,5	December . .	5,0.

Derſelbe Gang der täglichen Variationen der Declination zeigt ſich im Weſentlichen für alle Orte, welche nördlich vom magnetiſchen Aequator liegen, nur werden ſie um ſo ſchwächer, je mehr man ſich von den Polargegenden aus dem magnetiſchen Aequator nähert, für welchen ſie faſt völlig verſchwinden, um auf der Südhälfte der Erde in gleicher Weiſe, aber in entgegengeſetzter Richtung aufzutreten, d. h. auf der ſüdlichen Hemiſphäre bewegt ſich das Südende der Nadel zu denſelben Tageszeiten nach Weſten, in welchen auf der nördlichen Hemiſphäre das Nordende der Nadel nach Weſten geht.

Auch die Inclination iſt Variationen von 24ſtündiger Periode unterworfen, und zwar iſt ſie im Durchſchnitt um 10 Uhr Morgens am größten und um 10 Uhr Abends am kleinſten.

Dieſelben Wendeſtunden zeigen auch die täglichen Variationen der totalen Intenſität, nur zeigt ſich hier ein entgegengeſetzter Gang, indem das Maximum der totalen Intenſität im Durchſchnitt Abends um 10 Uhr, das Minimum Morgens um 10 Uhr eintritt.

217 **Magnetiſche Störungen.** Wenn man die Declinationsnadel mit Sorgfalt beobachtet, ſo zeigt ſich, daß ſie im Laufe eines Tages keineswegs ſo ſtetig von Oſt nach Weſt und dann wieder von Weſt nach Oſt geht, wie Fig. 292 zeigt, welche ja nur als Durchſchnitts-Reſultat einer großen Reihe von Beobachtungen gewonnen wurde. Von dieſem in Fig. 292 dargeſtellten normalen Gange der Declinationsnadel weichen die wirklichen Schwankungen in der Lage des magnetiſchen Meridians, wie ſie an einzelnen Tagen beobachtet werden, mehr

oder weniger ab. Ueberhaupt aber iſt die Bewegung der frei beweglichen Magnetnadel keineswegs eine gleichförmige, ſondern ſie geſchieht immer mehr oder weniger ſtoßweiſe, ſo daß der magnetiſche Meridian gewiſſermaßen bald nach Oſt, bald nach Weſt über ſeine Mittellage hinausſchwankt. Dieſe Bewegungen kann man als Störungen des normalen Ganges der Nadel bezeichnen.

Humboldt, welcher ſich ſchon in den Jahren 1799 bis 1804 durch die Beſtimmung der magnetiſchen Conſtanten in den Aequinoctialgegenden Amerikas große Verdienſte um die Kenntniß des Erdmagnetismus erworben hatte, veranlaßte zur genauen Erforſchung der magnetiſchen Störungen, daß von 1828 bis 1830 zu Berlin, Freiberg, Nikolajew und Kaſan an vorausbeſtimmten Tagen die Declinationsnadel ſtündlich beobachtet wurde, wobei ſich ein merkwürdiger Parallelismus in der Bewegung der Nadeln verſchiedener Orte herausſtellte, der auch durch ſpätere Beobachtungen die vollſte Beſtätigung fand.

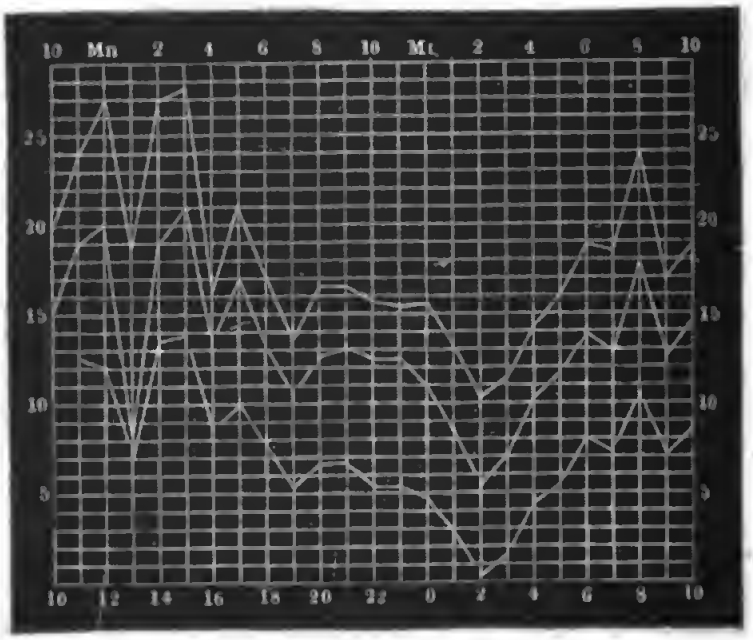
Einen großartigen Aufſchwung nahmen die erdmagnetiſchen Beobachtungen, nachdem Gauß durch Anwendung des Poggendorff'ſchen Spiegelapparats in ſeinem Magnetometer eine Vorrichtung conſtruirt hatte, welche die geringſten Veränderungen in der Lage des magnetiſchen Meridians zu beobachten geſtattete. Es wurden nun, von 1834 anfangend, an verſchiedenen Orten Deutſchlands und der benachbarten Länder nach demſelben Princip conſtruirte Apparate aufgeſtellt, um correſpondirende Beobachtungen anzuſtellen, d. h. um an vorausbeſtimmten Terminen 24 Stunden lang die Variationen der Declinationsinſtrumente von 5 zu 5 Minuten zu beobachten. Um die Beobachtungen genau gleichzeitig zu machen, wurde die Beſtimmung getroffen, daß man überall nach Uhren beobachten ſollte, welche nach Göttinger Zeit gerichtet ſind. So entſtand denn der von Gauß geleitete Verein, zu welchem im Jahre 1838 folgende Beobachtungsſtationen gehörten:

Altona,	Genf,	London,
Augsburg,	Greenwich,	Mailand,
Berlin,	Haag,	Marburg,
Breda,	Hannover,	München,
Breslau,	Heidelberg,	Petersburg,
Brüſſel,	Kopenhagen,	Prag,
Chriſtiania,	Krakau,	Seeberg,
Dublin,	Kremsmünſter,	Stockholm,
Freiberg,	Leipzig,	Upſala.

Die in den »Reſultaten des magnetiſchen Vereins« publicirten Terminsbeobachtungen beſtätigten nun den ſchon erwähnten Parallelismus im Gange der an verſchiedenen Orten aufgeſtellten Declinationsinſtrumente, wie man dies wohl am beſten aus der graphiſchen Darſtellung der Terminsbeobachtungen ſieht. So ſtellen denn die Figuren 293 und 294 (a. f. S.) die Terminsbeobachtungen von Upſala, Göttingen und Mailand vom 26. auf den 27. Februar und vom 28. auf den 29. Mai 1841 dar, und zwar ſind in dieſen Figuren nur die von Stunde zu Stunde gemachten Beobachtungen eingetragen,

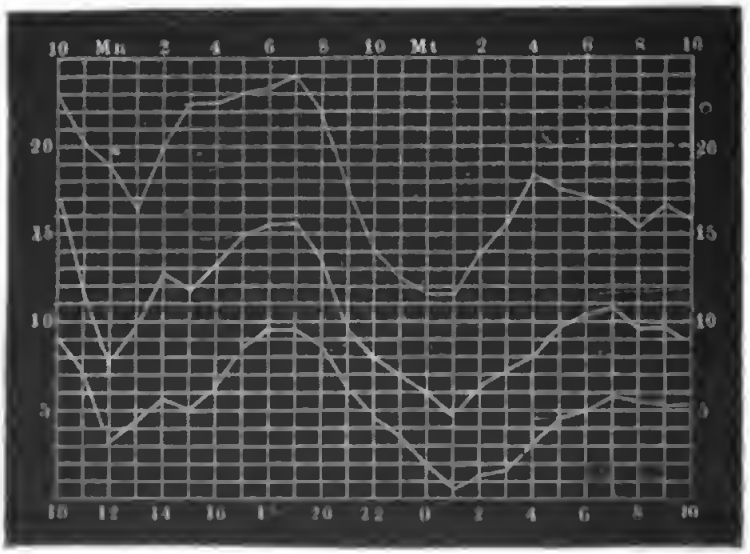
während die graphiſchen Darſtellungen des magnetiſchen Vereins, in ungleich größerem Maßſtab ausgeführt, die Reſultate der von 5 zu 5 Minuten angeſtellten Beobachtungen vollſtändig wiedergeben.

Fig. 293.



Terminsbeobachtungen vom 26. und 27. Februar 1841.

Fig. 294.



Terminsbeobachtungen vom 28. und 29. Mai 1841.

Die 24 Stunden dauernden Terminsbeobachtungen beginnen um 10 Uhr Abends.

Die oberſte Curve gilt für Upſala, die mittlere für Göttingen, die unterſte für Mailand.

Der Maßſtab der Figuren 293 bis 296 iſt derſelbe wie der Maßſtab der Fig. 292, und alle zum Verſtändniß der Fig. 292 gegebenen Erläuterunge gelten auch für dieſe Figuren.

Es verſteht ſich wohl von ſelbſt, daß im Lauf einer Stunde der Gang der Declinationsnadel nicht etwa ein gleichförmiger iſt, wie es in unſeren Figuren die geraden Linien andeuten, welche je zwei auf einander folgende Beobachtungspunkte mit einander verbinden, ſondern daß in der Zwiſchenzeit die Nadel gleichfalls nach der einen und anderen Seite ihres mittleren Ganges ausſchlägt. Dieſe in kürzeren Zeitintervallen auftretenden Oſcillationen können natürlich in den ſtündlichen Beobachtungen nicht wahrgenommen und in einer Zeichnung nicht ausgedrückt werden, welche nur nach den ſtündlichen Beobachtungen conſtruirt iſt.

Man ſieht aus dieſen Darſtellungen, daß die Störungen in der Regel von der Art ſind, daß ſie den mittleren täglichen Gang noch deutlich hervorheben, daß alſo die Störungen als Oſcillationen um den mittleren Gang der Declination auftreten. Dieſe nicht periodiſchen Schwankungen ändern ſich nun von einem Tage zum anderen; an dem einen Tage ſehr bedeutend, ſind ſie am anderen wieder ſehr gering.

Im Allgemeinen fallen die Störungen der Declination um ſo bedeutender aus, je mehr man ſich den Polargegenden nähert. So ging z. B. am 26. Februar 1841, Morgens von 3 bis 4 Uhr, die Declinationsnadel zu Upſala ungefähr um 12′, zu Göttingen nahe um 8′, zu Mailand um etwas über 5′ nach Weſten.

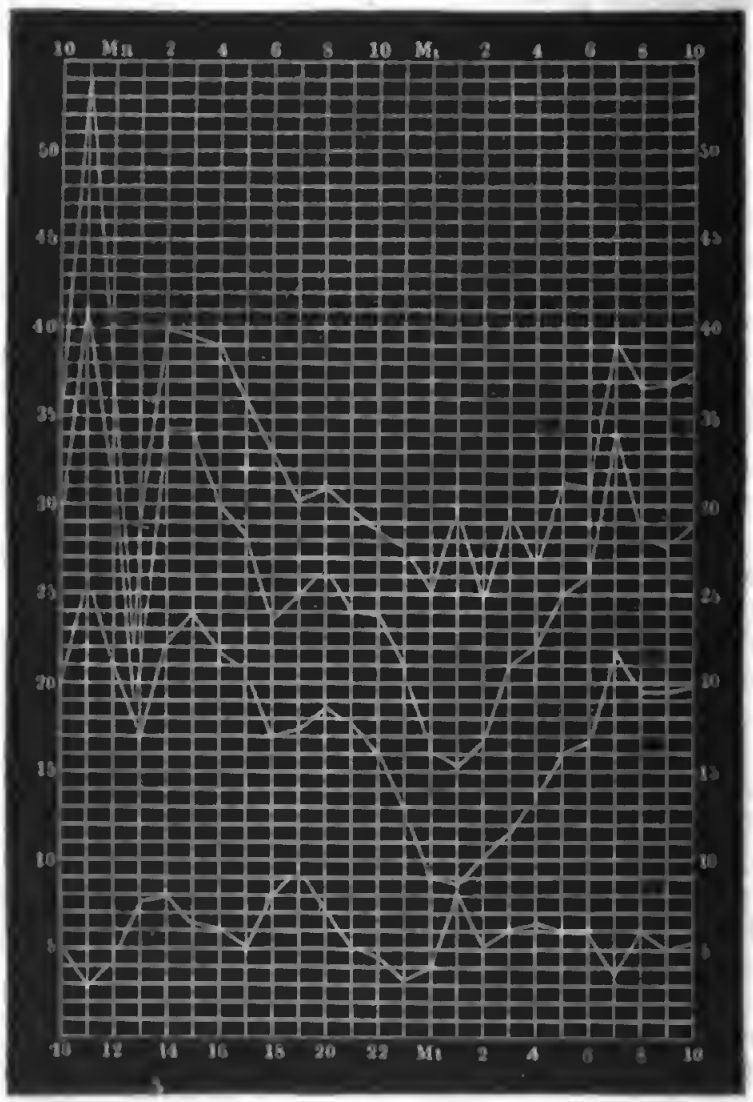
Die Terminszeichnungen Fig. 293 und Fig. 294 liefern nun auch eine anſchauliche Beſtätigung der bereits oben ſchon ausgeſprochenen Thatſache, daß die Störungen im Allgemeinen nicht localen Urſachen zugeſchrieben werden können, indem dieſelbe Schwankung in gleicher Richtung faſt gleichzeitig an allen Orten derſelben Hemiſphäre eintritt, welche nahezu gleiche geographiſche Länge haben.

Auch außerhalb Europa wurden nun bald durch die Unterſtützungen verſchiedener Regierungen, namentlich der engliſchen und ruſſiſchen, magnetiſche Obſervatorien errichtet, wo nach demſelben Plane beobachtet werden ſollte, ſo namentlich zu Algier, Barnaul (Sibirien), Bombay, Cambridge (Nordamerika), Cap der guten Hoffnung, Madras, Nertſchinsk, Philadelphia u. ſ. w. Dadurch wurde es nun möglich, auch die Störungen der ſüdlichen Hemiſphäre mit denen der nördlichen und die nicht periodiſchen Schwankungen öſtlicher gelegener Orte mit den gleichzeitigen Schwankungen weit nach Weſten hin liegender zu vergleichen.

Fig. 295 ſtellt die Terminsbeobachtungen der Declination vom 27. und 28. Auguſt 1841 zu Upſala, Göttingen, Mailand und dem Cap der

guten Hoffnung dar. Die drei oberen Curven bestätigen, was bereits über die Curven Fig. 293 und Fig. 294 gesagt worden ist, die unterste Curve aber zeigt, daß die Störungen auf der südlichen Hemisphäre in fast vollkommenem Gegensatz zu den Schwankungen stehen, welche gleichzeitig an Orten der nördlichen Halbkugel stattfinden, die nahezu gleiche geographische Länge haben.

Fig. 295.

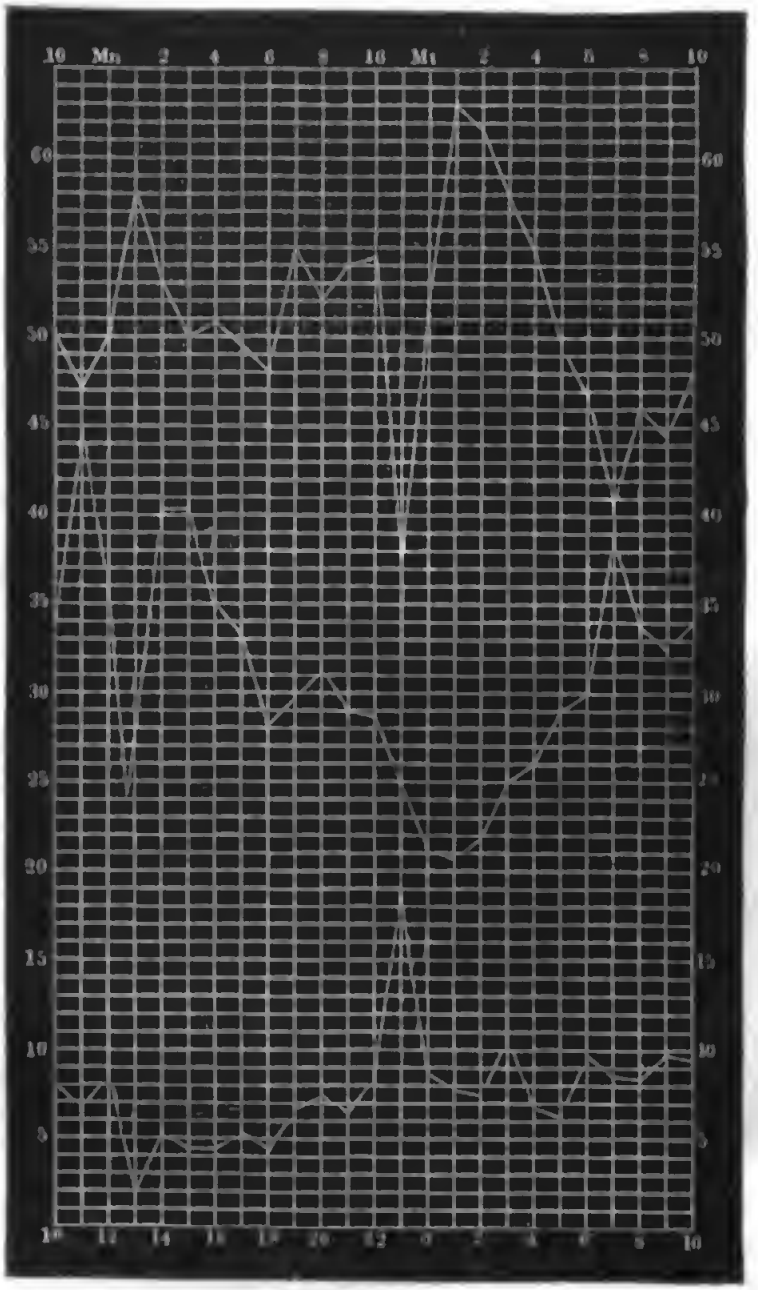


Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841.

Für verschiedene Orte, welche nahezu gleiche geographische Breite, aber verschiedene Länge haben, zeigt sich gleichfalls ein Zusammenhang in den Störungen, aber in anderer Weise. Wenn zu irgend einer Zeit an einem bestimmten Orte eine besonders starke Störungsschwankung stattfindet, so wird sie nach

Oſt und nach Weſt hin in gleicher Richtung, aber mit abnehmender Stärke auftreten; 90° öſtlich und 90° weſtlich von dem Orte, wo die Schwankung im

Fig. 296.



Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. Auguſt 1841.

Maximum auftritt, wird in demſelben Momente gar keine oder nur eine unbedeutende Schwankung beobachtet, auf der anderen Hälfte des Parallels aber

haben die gleichzeitigen Störungsschwankungen eine entgegengesetzte Richtung, und zwar zeigt sich ein östliches Maximum 180° von dem Punkte entfernt, wo gerade das westliche Maximum auftritt.

Es wird dies gleichfalls sehr gut durch die Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841 erläutert, nach welchen in Fig. 296 der gleichzeitige Gang der Declinationsnadel für Toronto (am Ontario-See), Göttingen und Nertschinsk dargestellt ist. Die mittlere dieser drei Curven, welche für Göttingen gilt, haben wir bereits in Fig. 295 kennen gelernt. Die oberste der drei Curven gilt für Toronto, die unterste für Nertschinsk. Toronto und Nertschinsk sind ungefähr um 180 Längengrade von einander entfernt und Göttingen liegt nahezu gleichweit von beiden entfernt.

Hier sehen wir nun, daß während der bedeutenden Schwankungen, welche zu Göttingen zwischen dem 27. August 10 Uhr Abends und dem 28. August 2 Uhr Morgens stattfanden, die Declinationsnadel zu Toronto und zu Nertschinsk nur eine unbedeutende Bewegung zeigte; während dagegen am folgenden Tage zu Göttingen zwischen 10 und 12 Uhr Vormittags die Declinationsnadel ziemlich ruhig dem normalen Gange folgte, sehen wir zu Toronto und Nertschinsk bedeutende Schwankungen eintreten, und zwar zu Nertschinsk in entgegengesetzter Richtung wie zu Toronto.

Fig. 297 stellt in größerem Maßstab als die letzten Figuren den gleichzeitigen Gang der Declinationsstörungen dar, wie sie am 23. Februar von 6 bis 10 Uhr Abends (Göttinger Zeit) zu Upsala und zu Alten in Finnmarken durch Lottin, Bravais und Martins beobachtet wurden; die obere Curve gilt für Alten, die untere für Upsala. Man sieht hier auf den ersten Blick, daß die schöne Uebereinstimmung, welche stets in den Variationen von Catania in Sicilien bis Upsala gefunden wurde, weiter nach Norden aufhört, so daß man bei Vergleichung der Curven von Alten und Upsala, trotz der verhältnißmäßig geringen Entfernung beider Orte kaum erkennen würde, daß sie sich auf denselben Termin beziehen. Aehnliche Resultate liefern auch andere Beobachtungen. Ueberhaupt sind die Störungen in den Polargegenden außerordentlich groß und von gänzlich veränderter Gestalt.

Fig. 297.

Die Inclination und die Intensität sind ähnlichen Störungen unterworfen, wie die Declination.

Ursache der magnetischen Störungen. Was den Zusammenhang 218
der magnetischen Störungen mit anderen Naturerscheinungen betrifft, so vermuthete man, daß wohl Gewitter einen Einfluß auf die Magnetnadel ausüben müßten. — Diese Erwartung hat sich nicht bestätigt, genaue Beobachtungen haben gezeigt, daß die Magnetnadel selbst durch die heftigsten Gewitter nicht affeirt wird. So beobachtete z. B. Lamont im Jahre 1842 das Magnetometer gerade in dem Augenblicke, wo der Blitz in der Nähe des Observatoriums auf freiem Felde einschlug, ohne daß er eine auffallende Bewegung der Nadel wahrnehmen konnte.

Anders verhält es sich mit Erdbeben und vulcanischen Ausbrüchen, welche älteren und neueren Beobachtungen zufolge meist von bedeutenden magnetischen Störungen begleitet sind. So sah Bernouilli im Jahre 1767, daß während eines Erdbebens die Inclination um $^1/_2$ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, daß die Declination um mehrere Grade variirte.

Am 18. April 1842 um 9 Uhr 10 Minuten beobachtete Kreil in Prag gerade das Declinationsinstrument, als die Nadel plötzlich einen so starken Stoß erhielt, daß die Scala über das Gesichtsfeld des Fernrohrs hinausfuhr. Dieselbe Oscillation wurde in demselben Augenblicke und zwar in gleicher Richtung auch von Cella in Parma und von Lamont in München beobachtet, und kurze Zeit darauf erfuhr man, daß in derselben Minute in Griechenland ein heftiges Erdbeben stattgefunden hatte.

In einem sehr innigen Zusammenhange mit den magnetischen Störungen stehen auch die Nordlichter, welche wir in den folgenden Paragraphen besprechen wollen.

Ueber die Ursache der magnetischen Störungen läßt sich nicht wohl eher eine zuverlässige Ansicht gewinnen, als man weiß, wo man eigentlich den Sitz der erdmagnetischen Kräfte zu suchen habe. Geleitet durch die Unregelmäßigkeiten im Verlauf der magnetischen Curven, welche bereits auf Seite 530 erwähnt wurden, hat es Lamont höchst wahrscheinlich gemacht, daß der Sitz des Erdmagnetismus in einem compacteren Kerne zu suchen sei, welcher sich unter der weniger dichten Erdrinde befindet, auf welcher wir leben.

Da wir nun aber wissen, daß das Innere der Erde sich in feurig-flüssigem Zustande befindet, so besteht demnach die feste Erdrinde aus zwei Schichten; einer weniger dichten, unter der sich dann eine compactere befindet, welche der Sitz des Erdmagnetismus ist. Diese magnetische Schicht, welche man sich als eine metallische, oder mit zahlreichen Adern von Eisen durchzogene vorstellen kann, ist im Allgemeinen ebenfalls von kugelförmiger Gestalt, aber sie ist, wie die äußere Erdoberfläche, mit mehr oder minder beträchtlichen Erhöhungen versehen. An solchen Stellen unserer Erdoberfläche nun, welche gerade über den höchsten Gipfeln dieser unterirdischen magnetischen Gebirge liegen, wird nun offenbar der Erdmagnetismus stärker vortreten und es ist somit klar, daß die uns noch unbekannte Lage dieser magnetischen Hervorragungen einen wesentlichen Einfluß auf den Lauf der magnetischen Curven haben muß.

Nach dieser Hypothese begreift man nun sehr gut, daß Erdbeben und namentlich Ausbrüche von Vulcanen stets von mehr oder weniger starken magnetischen Störungen begleitet sein müssen, denn bei jedem Ausbruche eines Vulcans muß diese magnetische Kruste durchbrochen werden, und bei jedem Erdbeben erleidet dieselbe mehr oder weniger bedeutende Erschütterungen.

Die magnetischen Störungen, welche wir in den letzten Paragraphen besprochen haben, beweisen, daß der magnetische Zustand dieser magnetischen Schicht keineswegs unverändert derselbe bleibt, daß er vielmehr mannigfachen Variationen unterworfen ist, welche theils allmälig vor sich gehen, und von welchen die seculären Schwankungen herrühren, theils aber auch an eine tägliche Periode gebunden sind. Diese periodischen Variationen gehen aber nicht stetig vor sich, sondern es finden stets stoßweise Schwankungen um den mittleren magnetischen Zustand Statt.

Am einfachsten kann man sich von diesen Variationen und Schwankungen Rechenschaft geben, wenn man den Erdmagnetismus von elektrischen Strömen ableitet, welche den fraglichen Kern in stets veränderlicher Stärke und Richtung durchziehen. Die tägliche Periode der magnetischen Variationen scheint aber darauf hinzudeuten, daß wir hier mit thermo-elektrischen Strömen zu thun haben.

219 **Das Nordlicht.** In den winterlichen Gegenden jenseits des nördlichen Polarkreises, wo die Sonne je nach der größeren geographischen Breite um die Zeit des Wintersolstitiums Wochen und Monate lang unter dem Horizonte steht, werden die langen Nächte häufig durch die prachtvolle Erscheinung des Nordlichtes (Aurora borealis) erhellt, dessen eigentliches Wesen uns noch räthselhaft ist, und welches hier in diesem Capitel nur deshalb abgehandelt wird, weil dasselbe, wie wir bald sehen werden, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus steht.

Je weiter man sich vom Pole entfernt, desto seltener und desto weniger brillant wird die Erscheinung des Nordlichtes. Die letzten ausgezeichneten Nordlichter, welche man in Deutschland zu beobachten Gelegenheit hatte, sind die vom 7. Januar 1831 und vom 18. October 1836.

Die Erscheinung dieser Nordlichter, namentlich des vom Jahre 1831, kommt im Wesentlichen mit der Darstellung auf Tab. XXVII überein. Es ist dies die Kopie eines schönen Bildes, welches der durch seine norwegischen Landschaften rühmlichst bekannte Maler August Becker von Darmstadt ausgeführt hat. Diese Darstellung veranschaulicht den Grundtypus der häufigsten Form, in welcher in Deutschland sowohl wie auch im südlichen Schweden und Norwegen die Nordlichter beobachtet werden.

Den gleichen Grundcharakter trägt auch die Abbildung eines zu Loch Leven in Schottland beobachteten Nordlichtes, welche in der Schlußvignette dieses Capitels wiedergegeben ist.

In der Erscheinung des Nordlichtes findet eine große Mannigfaltigkeit

Statt, und um dieſe dem Leſer vorzuführen, dürfte es wohl am geeignetſten ſein, die Beſchreibung naturkundiger Männer anzuführen, welche das Nordlicht in höheren Breiten in ſeiner ganzen Pracht und Herrlichkeit zu beobachten Gelegenheit hatten.

Nach den von Argelander in Abo gemachten Erfahrungen verkündigt ein eigenthümliches, ſchmutziges Anſehen des nördlichen Himmels in der Nähe des Horizontes dem aufmerkſamen und geübten Beobachter ſchon im Voraus das Erſcheinen eines Nordlichtes. Bald wird die Farbe dunkler und es zeigt ſich ein Kreisſegment von geringerer oder größerer Ausdehnung mit einem leichten Saume eingefaßt. Dieſes Segment hat vollkommen das Ausſehen einer dunklen Wolkenbank. Eben dieſes ſagen auch andere Beobachter. Dieſes dunkle Segment iſt auch von ſolchen Beobachtern in Deutſchland geſehen worden, welche auf das ſchöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 frühzeitig genug aufmerkſam wurden. In ſehr hohen Breiten iſt dieſes Segment ganz unmerklich.

Auch Mairan in ſeinem »Traité des Aurores boreales«, Paris 1741, ſagt, daß die großen Nordlichter kurz nach dem Ende der Dämmerung beginnen und daß man dann gegen Norden hin einen ziemlich dunklen Nebel wahrnimmt. Dieſer Nebel nimmt dann die Geſtalt eines Kreisſegmentes an, welches ſich zu beiden Seiten auf den Horizont ſtützt. Der ſichtbare Theil des Umfanges wird darauf von einem weißen Lichte geſäumt, aus welchem ein oder mehrere Lichtbogen entſtehen, wozu dann endlich noch die verſchiedenfarbigen, von dem dunklen Segmente ausgehenden Strahlen kommen.

Manchmal, wenn auch ſehr ſelten, erſcheint nur ein dunkles Segment in der Nähe des Randes ſymmetriſch durchbrochen, ſo daß man gleichſam eine Feuersbrunſt durch die Oeffnungen wahrzunehmen glaubt, Fig. 298 (a. f. S.). Dieſes eigenthümliche Meteor hat Mairan ſelbſt am 19 October 1726 zu Brouelle-Pont beobachtet.

Durch dieſes dunkle Segment hindurch kann man die helleren Sterne mit bloßem Auge ſehen, eine Thatſache, welche bereits von älteren Beobachtern berichtet und auch von neueren beſtätigt worden iſt. So ſahen z. B. Kries in Gotha und Gerling in Marburg bei dem Nordlicht vom 7. Januar 1831 α lyrae hell durch das dunkle Segment ſtrahlen.

Das eigentliche Weſen dieſes dunklen Segmentes wird namentlich durch den zuletzt angeführten Umſtand ſehr räthſelhaft; Einige, z. B. Struve, ſind geneigt, es nur durch den Contraſt zu erklären. Dieſer Anſicht widerſpricht aber die Thatſache, daß das Segment ſchon in der Dämmerung ſichtbar wird, ehe noch eine Lichtentwickelung des Nordlichtes auftritt, und ſomit muß man wohl mit Argelander hier das Daſein einer wirklichen Materie annehmen.

Das dunkle Segment wird von einem meiſt bläulichweißen hellen Lichtbogen geſäumt, deſſen Breite zwiſchen 1 bis 6 Vollmondbreiten ſchwankt. Ebenſo verſchieden wie die Breite iſt auch die Ausdehnung des Saumes, welche zuweilen nur 25 bis 30, zu anderen Zeiten bis nahe 180 Grad beträgt; wonach dann auch die Höhe über dem Horizonte ſehr verſchieden ausfällt.

Der untere Rand dieſes Bogens iſt ſcharf begränzt, der obere nur, wenn

er ſehr ſchmal iſt; wenn er breiter iſt und verwaſchen erſcheint, ſo verbreitet er ein lebhaftes Licht und erhellt den ganzen Himmel eben ſo ſtark, wie der Vollmond eine halbe Stunde nach ſeinem Aufgange.

Fig. 298.

Bei ſehr lebhaften Nordlichtern zeigen ſich oft mehrere concentriſche Lichtbogen.

Wenn der Lichtbogen einmal gebildet iſt, ſo bleibt er oft mehrere Stunden lang ſichtbar, er iſt aber dabei in beſtändiger Bewegung. Er hebt und ſenkt ſich, er dehnt ſich aus nach Oſt und nach Weſt, er wird bald da, bald dort zerriſſen. Dieſe Bewegungen werden beſonders bemerklich, wenn das Nordlicht ſich ausdehnt und Strahlen zu ſchießen beginnt. Der Bogen wird nun an irgend einer Stelle leuchtender und beginnt Strahlen zu ſchießen, welche unten gleichſam in das dunkle Segment einfreſſen. Die Breite dieſer hell leuchtenden Strahlen iſt ungefähr dem halben Monddurchmeſſer gleich. Solche Strahlen ſchießen mit der Schnelligkeit eines Blitzes empor, theilen ſich oben; ſie werden bald länger, bald kürzer, bewegen ſich bald nach Oſt, bald nach Weſt, und krümmen ſich wie ein vom Winde bewegtes Band. Wenn dieſe in ſtetem Wechſel der Form, der Lage und des Glanzes befindlichen Strahlen ſehr hell werden, ſo erſcheinen ſie bald in grünlichem, bald in tief rothem Lichte. Wenn die Strahlen kurz ſind, ſo hat der Lichtbogen das Anſehen eines gezahnten Kammes.

Oefters ereignet es ſich, daß die leuchtenden Strahlen, welche von allen Theilen des öſtlichen, nördlichen und weſtlichen Horizontes auflodern, bis über den Scheitel des Beobachters hinaus aufſchießen und dann durch ihre Vereinigung eine glänzende Krone bilden, deren Mittelpunkt wenigſtens im nördlichen Europa noch einige Grade ſüdöſtlich vom Zenith liegt. Beſtimmt man die ſcheinbare Lage dieſer Krone mit Hülfe eines aſtronomiſchen Inſtrumentes oder durch die Beobachtung der Sterne, die ſich bei ihrem Entſtehen in jener Gegend zeigen, ſo findet ſich, daß der Mittelpunkt der Krone durch diejenige Stelle des Himmels gebildet wird, nach welcher das obere Ende einer im magnetiſchen Meridian frei beweglichen Inclinationsnadel hinweiſt.

Leider fehlen uns gute Abbildungen dieſer in der Nähe des Zeniths ſich bildenden Nordlichtskrone gänzlich; mir iſt wenigſtens keine ſolche bekannt. Es

wäre in der That sehr zu wünschen, daß Naturforscher und Maler, welche Gelegenheit haben, diese nur in höheren Breiten sich zeigende Form des Nordlichtes zu beobachten, davon getreue Zeichnungen entwerfen und veröffentlichen möchten, um es auch solchen Freunden der Naturforschung zur Anschauung zu bringen, welchen es nicht vergönnt ist, dieses herrliche und seltene Phänomen selbst zu sehen.

Gehen wir nun zu der Beschreibung über, welche namhafte Naturforscher von den durch sie beobachteten Nordlichtern gegeben haben.

Beschreibung eines von Biot beobachteten Nordlichtes. Am 220
7. August 1817 hatte Biot Gelegenheit, auf den Shetländischen Inseln ein großes Nordlicht zu beobachten, von welchem er folgende Beschreibung giebt:

»Man erblickte zuerst in Nordost einige schmale Lichtstrahlen, die nicht hoch über den Horizont hinaufstiegen, und nachdem sie eine Zeitlang da gestanden hatten, verlöschten. Nach anderthalb Stunden erschienen sie wieder in derselben Himmelsgegend, aber viel stärker, glänzender und ausgedehnter. Bald fingen sie an, über dem Horizonte einen regelmäßigen Bogen nach Art des Regenbogens zu bilden. Anfangs war der Umkreis desselben nicht vollendet, aber nach und nach nahm er an Oeffnung und Weite zu, und nach einigen Augenblicken sah ich von Westen her die andere Hälfte ankommen, die sich in einem Augenblicke erhob, begleitet von einer Menge leuchtender Strahlen, die von allen Seiten des nördlichen Horizontes hinzuliefen. Dieser Bogen war anfangs schwankend und unentschieden, als habe sich die Materie, die ihn bildete, noch nicht fest und bleibend geordnet; aber bald kam er zur Ruhe und erhielt sich dann in seiner ganzen Schönheit über eine Stunde lang, wobei er nur eine fast unmerklich fortschreitende Bewegung nach Südost hatte, als wenn ihn der schwache Nordwestwind, welcher damals wehte, dorthin führte. Ich hatte daher volle Zeit, ihn mit Muße zu betrachten, und seine Lage mit dem Repetitionskreise, welcher mir zu astronomischen Beobachtungen dient, zu bestimmen. Er umspannte einen Bogen des Horizontes von 128° 42′ und sein Mittelpunkt befand sich genau im magnetischen Meridian. Der ganze Himmelsraum, den dieser große Bogen nach Nordwest zu begränzte, wurde unaufhörlich von leuchtenden Strahlen durchfurcht, deren verschiedene Gestalten, Farben und Dauer meinen Geist nicht weniger als meine Augen beschäftigten.

»Gewöhnlich war jeder dieser Strahlen, wenn er anfing zu erscheinen, ein bloßer Strich weißlichen Lichtes; schnell aber nahm er an Größe und an Glanz zu, wobei er manchmal sonderbare Veränderungen in Richtung und Krümmung zeigte. Hatte er seine vollkommene Entwickelung erreicht, so verengte er sich zu einem dünnen, geradlinigen Faden, dessen in der Regel äußerst lebhaftes und glänzendes Licht von sehr bestimmter rother Farbe war, dann allmälig schwächer ward und endlich erlosch, häufig genau an der Stelle, wo der Strahl angefangen hatte zu erscheinen. Daß eine so große Menge Strahlen fortdauert, jeder an seinem scheinbaren Orte, während der Glanz derselben unendlich viele Abwechselungen erleidet, scheint zu beweisen, daß das Licht dieser Strahlen kein reflectirtes, sondern eigenes Licht ist, und sich an dem Orte selbst entwickelt, wo

man es sieht; auch habe ich darin nicht die geringste Spur von Polarisation entdecken können, welche das reflectirte Licht charakterisirt.

»Alle diese Strahlen und der Bogen selbst befanden sich in einer größeren Höhe als die Wolken, denn diese bedeckten sie von Zeit zu Zeit, und die Ränder der Wolken schienen von ihnen erhellt zu sein. Auch der Mond, welcher damals hoch über dem Horizonte stand, erleuchtete dieses erhabene Schauspiel, und die Ruhe seines Silberlichtes bildete den sanftesten Contrast mit der lebhaften Bewegung der glänzenden Strahlengarben, mit welchen das Meteor die Luft übergoß.«

221 **Beschreibung des grossen Nordlichtes von 1836.** Bessel giebt von dem schönen Nordlichte, welches am 18. October 1836 erschien, folgende Beschreibung: »Bald nach dem Untergange der Sonne zeigte sich, westlich von Norden, eine Helligkeit des Himmels, welche man einem Nordlichte zuschreiben konnte, zumal da ihre Mitte etwa in der Richtung des magnetischen Meridians lag, und da einige Tage vorher auch Nordlichter erschienen waren. Denn die Nordlichter haben meistentheils ihren Mittelpunkt in dieser Richtung, und es ist nicht ungewöhnlich, daß sie sich in kurzer Zeit wiederholen. Das erste Nordlicht, welches ich in diesem Herbste gesehen habe, war am 11., ein zweites erschien am 12. October. Jenes gehörte zu den schöneren, indem es häufige Strahlen über den Polarstern hinaustrieb; dieses erhob sich nur wenig über den Horizont und zeigte keine Strahlen. Das am 18. October erscheinende entwickelte sich so vollständig, daß es wenigstens für unsere Gegenden zu den sehr seltenen Erscheinungen gehört, und an die schöne Beschreibung von Maupertuis erinnert, den die Nordlichterpracht in Tornea entzückte, als er sich, jetzt gerade vor 100 Jahren, daselbst befand, um eine denkwürdige wissenschaftliche Unternehmung rühmlich auszuführen.

»Unser Nordlicht zeigte zunächst einen röthlichen Schimmer, welcher mehrere Theile des nördlichen Himmels bedeckte, aber wenig lebhaft und von kurzer Dauer war. Dann strömte die Gegend um seinen Mittelpunkt herum häufige Strahlen aus, welche, wie es bei Nordlichtern gewöhnlich ist, in wenigen Augenblicken entstanden, fast bis zu dem Scheitelpunkte aufschossen, wieder verschwanden und durch neue ersetzt wurden. Diese Strahlen sind geraden Kometenschweifen durchaus ähnlich; oft drängen sich so viele zusammen, daß sie an die geraden Bäume eines dichten Tannenwaldes erinnern; ihr Licht pflegt nicht so lebhaft zu sein, daß so heller Mondschein, als der des 18. October war, die Schönheit ihres Anblickes und ihrer fortwährenden Aenderungen nicht beeinträchtigen sollte.

»Bis hierher war die Erscheinung von der des 11. October und von denen, die sich in diesen Gegenden zu gewissen Zeiten nicht selten zeigen, nicht wesentlich verschieden. Allein um $7\frac{1}{4}$ Uhr erschienen zwei Strahlen, welche sich sowohl durch ihre Lebhaftigkeit als auch durch die Himmelsgegenden, wo sie sich befanden, auszeichneten. Beide entstanden an entgegengesetzten Punkten des Horizontes, der eine etwa 15 Grad nördlich von Osten, der andere eben so weit südlich von Westen. Sie schossen in Richtungen aufwärts, welche südlich

von dem Scheitelpunkte vorbeigingen. Sie hatten die Helligkeit hoher weißer, durch ſtarkes Mondlicht erleuchteter Strichwolken. Man ſah deutlich, daß die Ausſtrömung, welche ſie erzeugte, kräftig unterhalten wurde, denn ihre Verlängerungen und Verkürzungen waren groß und ſchnell. Als dieſe Strahlen kaum entſtanden waren, zeigte ſich an dem nördlichen Rande jedes derſelben ein Auswuchs; beide Auswüchſe verlängerten ſich und näherten ihre Enden, ſo daß ſie bald zuſammenſtießen und nun einen Bogen bildeten, welcher beide Strahlen mit einander verband, und deſſen höchſter Punkt etwa 30 Grad nördlich von dem Scheitelpunkte lag. Dieſer Bogen erſchien, ſo wie die Strahlen, von welchen er ausging, in lebhaftem weißen Lichte, und würde vermuthlich einen noch weit ſchöneren Anblick gewährt haben, wenn nicht der Mond ſeinen Glanz geſchwächt hätte. Indeſſen blieb er nicht lange Zeit in ſeiner anfänglichen Lage; er bewegte ſich dem Scheitelpunkte zu, ging dann über ihn hinaus auf die Südſeite und kam auf dieſer bis zu einer Entfernung von 40 bis 45 Graden, wo er ſich nach und nach wieder verlor. Ehe dieſes geſchah, nahm er auf der Weſtſeite eine unregelmäßige Krümmung an und zeigte ſich ſehr auffallend ſchlangenförmig; auf der Oſtſeite blieb er bis zu ſeiner gänzlichen Auflöſung regelmäßig gekrümmt.

»Nach der Verſchwindung dieſes Bogens zeigte das Nordlicht nur noch eine beträchtliche Helligkeit am nördlichen Himmel, welche, trotz des Mondſcheines, oft bis zu der Höhe von 30 Graden wahrgenommen werden konnte. Hin und wieder ſchoß es einzelne blaſſe Strahlen aufwärts, welche jedoch mit keinen ungewöhnlichen Erſcheinungen verbunden waren. Allein um $9^1/_2$ Uhr wurde ſein Anſehen prachtvoll; die Nordhälfte des Himmels bedeckte ſich mit einer rothen Farbe, welche ſo ſatt wurde, daß ſie nur mit der Farbe des Karmins verglichen werden kann; dabei war ihr Licht ſo ſtark, daß es, trotz des Mondlichtes, ſichtbaren Schatten verurſachte. Dieſe Röthe des Himmels ging in Norden nicht bis zu dem Horizonte herab, ſondern ein bogenförmiger Raum, deſſen Scheitel etwa 30 Grad Höhe haben mochte, blieb ungefärbt.

»Ueber dieſem freien Raume ſah der Himmel aus, als würde er durch einen Vorhang von einem hochrothen, durchſichtigen Stoffe bedeckt. Hinter dem Vorhange ſchoſſen blendend weiße Strahlen hervor, welche durch ihn hindurch ſchimmerten. Einige glänzende Sternſchnuppen, welche ſich an dem verhängten Theile des Himmels zeigten, vermehrten noch die Pracht und die Abwechſelung der Scene.

»Etwa nach einer Viertelſtunde trennte ſich der rothe Vorhang, um den in der Richtung des magnetiſchen Nordens liegenden Theil des Himmels wieder in ſeiner gewöhnlichen Farbe erſcheinen zu laſſen. Der ungefärbte Raum vergrößerte ſich nun nach beiden Seiten, und bald war keine rothe Farbe mehr, ſondern nur noch eine Helligkeit am nördlichen Horizonte ſichtbar.

»Zum Schluſſe führe ich noch an, daß, nach Maupertuis, die hochrothe Farbe des Himmels auch in Tornea ſo ſelten vorkommt, daß allerlei Aberglauben daran geknüpft wird, daß aber alle anderen Färbungen häufig ſind. Es ſcheint daher, daß unſer Nordlicht ſelbſt für höhere Breiten eine ungewöhnliche Erſcheinung geweſen ſein würde.«

Matteucci, welcher das Nordlicht vom 18. October 1836 zu Forli im Kirchenstaate beobachtete, giebt davon folgende Beschreibung: »Es war 9 Uhr Abends, als ein schwach röthliches Licht sich gegen Norden hin zeigte. Es erstreckte sich auf eine Weite von 70 bis 80° und erhob sich zu 25 bis 30°. Seine Gestalt war in den unteren Partien kreisförmig; seine Entfernung vom Horizonte konnte 7 bis 8° betragen. 23 Minuten nach seinem ersten Hervortreten nahm das Licht eine lebhafte Purpurfarbe an, eine dunklere centrale Linie, welche man darin bemerkte, ging nach Westen. Die Erscheinung verschwand durch allmäliges Erblassen.«

222 **Beschreibung der von Lottin zu Bossekop beobachteten Nordlichter.** Der Schiffslieutenant Lottin, Mitglied einer nach dem Norden ausgesendeten wissenschaftlichen Expedition, hatte während des Winters von 1838 auf 1839 Gelegenheit, die Erscheinung des Nordlichtes zu Bossekop, im norwegischen Amte Finnmarken, unter dem 70. Grade nördlicher Breite, zu beobachten.

Bossekop liegt an einem vielbuchtigen Fiord, in welches sich das Flüßchen Alten ergießt, umgeben von Tannenwäldern und Schneebergen, deren Kamm sich zu einer Höhe von 5 bis 7° über den Horizont erhebt.

Vom September 1838 bis zum April 1839, in einem Zeitraume von 206 Tagen, beobachtete man daselbst 143 Nordlichter, und zwar 64 während der längsten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. November bis zum 25. Januar dauert. Lottin beschreibt das Phänomen in folgender Weise.

»Des Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig nach Norden hin in einer Höhe von 4 bis 6° herrscht; dieser lichte Streifen nimmt allmälig die Gestalt eines Bogens von blaßgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden sich auf die Erde aufstützen.

»Dieser Bogen steigt allmälig in die Höhe, während sein Gipfel stets nahe in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.

»Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen, und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieser Strahlen zeigt immer den lebhaftesten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmäßigen Bogen. Die Länge der Strahlen ist sehr verschieden, sie convergiren aber nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des Südendes der Inclinationsnadel angedeutet ist. Manchmal verlängern sich die Strahlen bis zu diesem Punkte und bilden so ein Bruchstück eines ungeheuren Lichtgewölbes.

»Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu steigen; in seinem Glanze zeigt sich eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fuße zum anderen; diese Art Lichtstrom zeigt sich oft mehrmals hinter einander, aber häufiger von Westen nach Osten als in entgegengesetzter Richtung. Manchmal, aber selten, folgt die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erste, und wenn der Glanz der Reihe nach alle

Strahlen von Westen nach Osten durchlaufen hat, nimmt seine Bewegung eine entgegengesetzte Richtung an und kehrt zu seinem Ausgangspunkte zurück, ohne

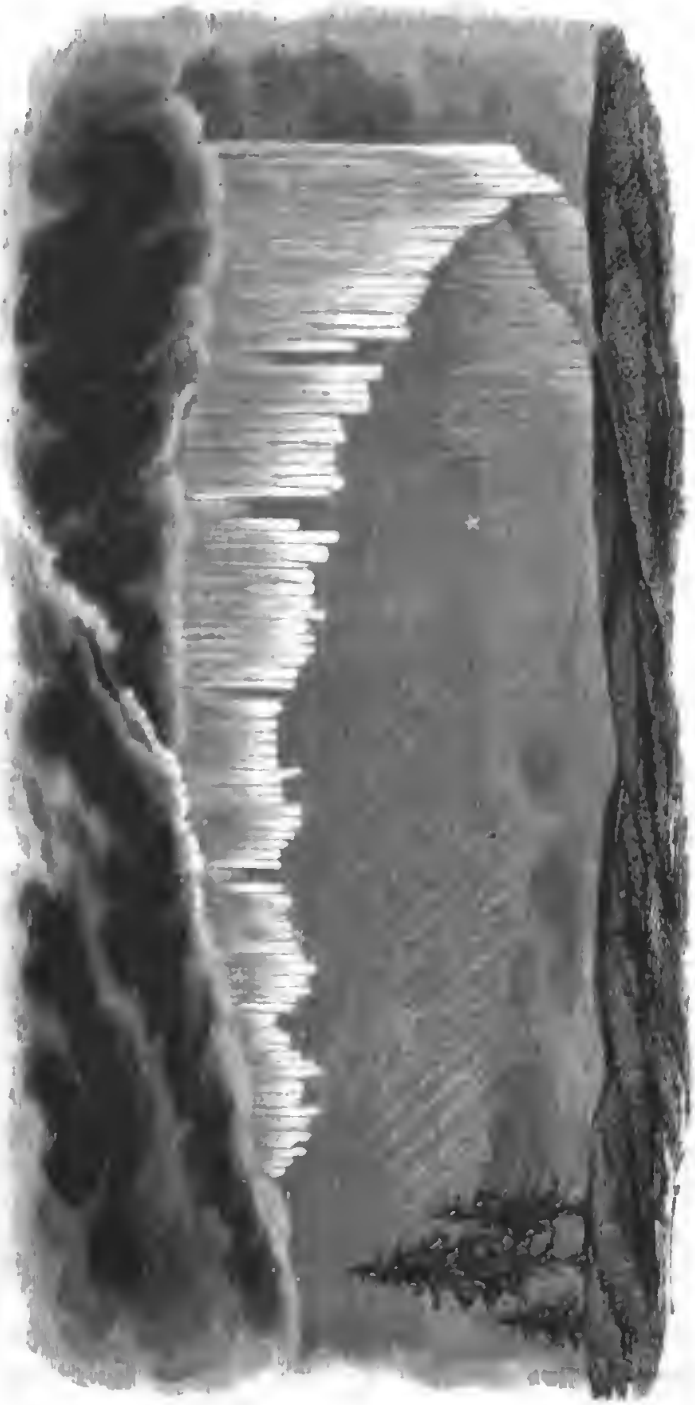


Fig. 299.

daß man eigentlich recht ſagen kann, ob die Strahlen ſelbſt eine horizontale Verrückung erleiden, oder ob ſich der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne daß die Strahlen ihre Stelle verändern.

»Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich iſt. Manchmal verläßt einer der Füße oder ſelbſt beide den Horizont; dann werden dieſe Biegungen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erſcheint nur als ein langes Strahlenband, welches ſich entwickelt, ſich in mehrere Theile trennt und graziöſe Windungen bildet, welche ſich faſt ſelbſt ſchließen und das bilden, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert ſich plötzlich die Lichtintenſität der Strahlen, ſie übertrifft die der Sterne erſter Größe; die Strahlen ſchießen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und entwickeln ſich wie die Windungen einer Schlange; nun färben ſich die Strahlen, die Baſis iſt roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blaßgelbes Licht. Dieſe Farben behalten immer ihre gegenſeitige Lage und haben eine bewundernswürdige Durchſichtigkeit. Das Roth nähert ſich einem hellen Blutroth, das Grün einem blaſſen Smaragdgrün.

»Der Glanz nimmt ab, die Farben verſchwinden, die ganze Erſcheinung erliſcht entweder plötzlich, oder ſie wird nach und nach ſchwächer. Einzelne Stücke des Bogens erſcheinen wieder, er bildet ſich von Neuem, er ſetzt ſeine aufſteigende Bewegung fort und nähert ſich dem Zenith; die Strahlen erſcheinen durch die Perſpective immer kürzer; alsdann erreicht der Gipfel des Bogens das magnetiſche Zenith, einen Punkt, nach welchem die Südſpitze der Inclinationsnadel hinweiſt. Nun ſieht man die Strahlen von ihrem Fuße aus. Wenn ſie ſich in dieſem Augenblicke färben, ſo zeigen ſie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt.

»Unterdeſſen bilden ſich neue Bogen am Horizonte, welche entweder anfangs verſchwommen erſcheinen, oder durch lebhafte Strahlen gebildet ſind. Sie folgen einander, indem alle faſt dieſelben Phaſen durchlaufen und in beſtimmten Zwiſchenräumen von einander bleiben; man hat deren bis zu 9 gezählt, welche, auf die Erde geſtützt, durch ihre Anordnung an die oberen Couliſſen unſerer Theater erinnern, die, auf die Seitencouliſſen geſtützt, den Himmel der Theaterſcene bilden. Manchmal werden die Zwiſchenräume kleiner, mehrere dieſer Bogen drängen einander. — So oft die Strahlen am hohen Himmel das magnetiſche Zenith überſchritten haben, ſcheinen ſie von Süden her nach dieſem Punkte zu convergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kommenden die eigentliche Krone. Die Erſcheinung der Krone iſt ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perſpective, und ein Beobachter, welcher in dieſem Augenblicke weiter nach Süden hin ſich befindet, wird ſicherlich nur einen Bogen ſehen können.

»Denkt man ſich nun ein lebhaftes Schießen von Strahlen, welche beſtändig ſowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren Glanz ſich ändern, daß ſie die herrlichſten rothen und grünen Farbentöne zeigen, daß eine wellenartige Bewegung ſtattfindet, daß Lichtſtröme einander folgen und endlich, daß

das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure prächtige Lichtkuppel zu sein scheint, welche über einen mit Schnee bedeckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, auf dessen Beschreibung man verzichten muß.

»Die Krone dauert nur einige Minuten; sie bildet sich manchmal plötzlich, ohne daß man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten sieht man zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon.

»Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich vom Zenith, immer blassere Bogen bildend, welche in der Regel verschwinden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beobachtet man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher scheint das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen scheinen verwaschen, sie bilden schwache, unbestimmt begränzte Lichtschimmer, welche endlich, kleinen Cumulus ähnlich, auf dem Himmel gruppirt sind. — Allmälig erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar.

»Manchmal sieht man die Strahlen noch, wenn der Tag schon angebrochen, wenn es schon so hell ist, daß man lesen kann; dann aber verschwinden sie schnell, oder sie werden vielmehr um so unbestimmter, je mehr die Helligkeit zunimmt, sie nehmen eine weißliche Farbe an und vermischen sich so mit den Cirrostratus, daß man sie nicht mehr von diesen Wolken unterscheiden kann.«

Die Figuren 299 und 300 stellen zwei zu Bossekop beobachtete Nordlichter dar.

Fig. 300.

Beziehungen des Nordlichtes zum Erdmagnetismus. Das 223
Nordlicht, welches Humboldt sehr bezeichnend ein magnetisches Gewitter nennt, steht, wie bereits bemerkt wurde, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus. So haben wir bereits gesehen, daß der Gipfel des Nordlicht-

bogens im magnetiſchen Meridian liegt, und daß der Mittelpunkt der Nordlichtskrone derjenige Punkt des Himmelsgewölbes iſt, nach welchem das Südende der Inclinationsnadel hinweiſt. Dazu kommt aber noch, daß während eines Nordlichtes die Declinationsnadel in ungewöhnlich ſtarke Schwankungen geräth. Dieſer Umſtand wurde bereits im Jahre 1740 von Celſius und Hiorter entdeckt. Durch Vergleichung von Beobachtungen der Magnetnadel, welche gleichzeitig an ſehr entfernten Orten, wie zu Upſala und zu London, gemacht worden waren, fand ſich, daß dieſelben Bewegungen der Magnetnadel ſich an beiden Orten, und zwar um ſo ſtärker geäußert hatten, je lebhafter und je weiter verbreitet am Himmel das Nordlicht geweſen war.

Während des großen Nordlichtes vom 7. Januar 1831 wuchſen die täglichen Variationen der Magnetnadel zu Paris bis auf 1° 16,5'.

Hanſteen beſchreibt den Einfluß der Nordlichter auf die Magnetnadel in folgender Weiſe: »Iſt das Nordlicht lebhaft, ſo wird die Abweichungsnadel unruhig, ſie weicht in Zeit von wenigen Minuten um 3, 4, ja um 5 Grad von ihrer gewöhnlichen Stellung ab und hat zuweilen eine ſehr veränderliche Bewegung, zum Beweiſe, daß in dieſer Zeit die Magnetkräfte der Erde in großer Unruhe ſind. Kurz vor dem Erſcheinen des Nordlichtes kann die Intenſität des Erdmagnetismus bis zu einer ungemeinen Höhe ſteigen; ſobald aber das Nordlicht beginnt, nimmt die Intenſität des Erdmagnetismus in demſelben Verhältniß ab, in welchem das Nordlicht lebhafter wird, indem er ſeine frühere Stärke nur ſucceſſiv, oft erſt nach Verlauf von 24 Stunden wieder erhält. — Die Nordlichter ſcheinen demnach eine Lichtentwickelung zu ſein, welche die Entladung des ungewöhnlich ſtark angehäuften Erdmagnetismus begleitet.«

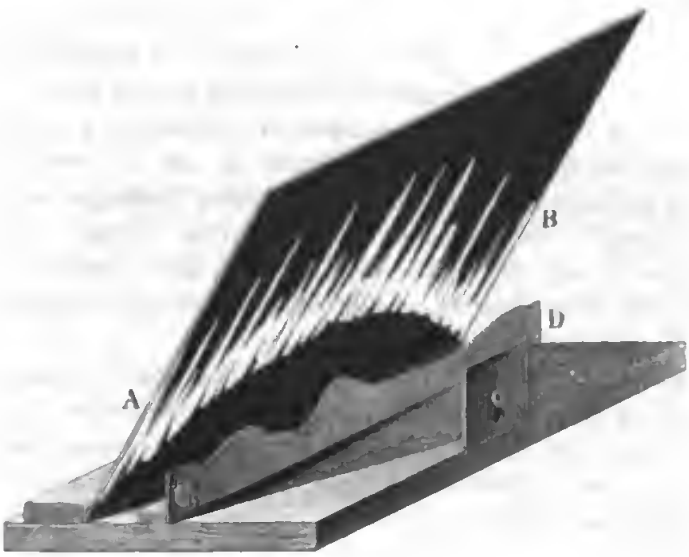
Eine ungewöhnliche Unruhe der Magnetnadel erſtreckt ſich aber nicht allein auf diejenigen Gegenden, in welchen das Nordlicht ſelbſt ſichtbar iſt, ſondern ſie wird noch an Orten beobachtet, welche dem Schauplatze des Nordlichtes mehr oder weniger fern ſind, ſo daß man aus bedeutenderen Störungen der Magnetnadel wohl ſtets auf ein, wenn auch nur in entfernteren Gegenden ſichtbares Nordlicht ſchließen kann. Arago hat dieſem Umſtand eine ganz beſondere Aufmerkſamkeit zugewendet. (F. Arago's ſämmtliche Werke, 4. Bd.)

Am unzweifelhafteſten ergiebt ſich die Beziehung des Nordlichtes zum Erdmagnetismus, wenn man ſucht die wahre Lage der Nordlichtſtrahlen zu ermitteln. Eine genauere Prüfung führt nämlich ſtets zu dem Reſultat, daß dieſe Strahlen mit der Richtung der Neigungsnadel zuſammenfallen, d. h. daß die wahre Richtung der Strahlen dieſelbe iſt, wie diejenige, welche eine an ihre Stelle gebrachte nach allen Seiten hin frei bewegliche Neigungsnadel annehmen würde. Die verſchiedenen Formen, unter welchen das Nordlicht erſcheint, erklären ſich, nachdem einmal dieſe Thatſache feſtgeſtellt iſt, ganz einfach aus der verſchiedenen Gruppirung dieſer Strahlen und der Stellung, welche der Beobachter gegen eine ſolche Strahlengruppe einnimmt.

Um es anſchaulich zu machen, wie ein Kamm unter ſich paralleler Strahlen dem Beobachter ſo erſcheinen kann, als ob die Strahlen gegen einen unter dem Horizont liegenden Punkt conoergirten, oder mit anderen Worten, um zu

erklären, wie eine Reihe von Strahlen, welche sämmtlich der Neigungsnadel parallel sind, den Anblick bieten können, wie er auf Tab. XXVII. dargestellt ist, kann man ein Modell anwenden, wie es in Fig. 301 dargestellt ist. Auf einem

Fig. 301.



horizontalen Brett ist ein Pappendeckel AB so aufgestellt, daß seine Ebene mit der Ebene des horizontalen Brettes ohngefähr einen Winkel von 65 bis 70 Graden macht. Auf der mit Papier überzogenen Vorderseite dieses Pappendeckels ist ein Kamm von Nordlichtstrahlen gemalt, die aber sämmtlich untereinander und mit den Seitenkanten des Pappendeckels parallel sind, wie es unsere Figur zeigt. Vor dieser geneigten Tafel mit Nordlichtstrahlen ist, gleich einer Theatercoulisse, eine gemalte Bergkette CD aufgestellt. — Schaut man nun durch eine Oeffnung O, welche in einem kleinen Brettchen in der Mitte der Vorderseite des horizontalen Brettes angebracht ist, gegen CD und AB hin, so erscheinen die auf AB parallel unter sich aufgetragenen Strahlen nicht mehr parallel. Die Strahlen bei A scheinen sich nach der Linken, die bei B scheinen sich nach der Rechten zu neigen. Kurz, der auf AB gemalte Strahlenkamm wird, auf diese Weise betrachtet, mehr oder weniger täuschend die Erscheinung des Nordlichts auf Tab. XXVII. wiedergeben.

Höhe, Ausdehnung und geographische Verbreitung der Nordlichter. 224 Die älteren Naturforscher waren der Ansicht, daß der Sitz der Nordlichter noch über den Gränzen der Atmosphäre zu suchen sei. Diese Ansicht war jedenfalls eine irrige. Wenn das Nordlicht sich außerhalb unserer Atmosphäre befände, so könnte es an der täglichen Umdrehung der Erde keinen Antheil nehmen, es müßte also die scheinbare tägliche Bewegung des Fixsternhimmels theilen, was entschieden nicht der Fall ist; im Gegentheil verhält sich

das Nordlicht gegen das Himmelsgewölbe durchaus wie ein irdiſcher Gegenſtand; es iſt alſo keinem Zweifel unterworfen, daß ſich das Nordlicht innerhalb unſerer Atmoſphäre bildet.

Aber welches iſt ſeine Höhe über der Erdoberfläche? Um dieſe Frage zu beantworten, verglich man die ſcheinbare Höhe, in welcher der Gipfelpunkt des Lichtbogens eines und deſſelben Nordlichts von verſchiedenen, an mehr oder weniger weit von einander entfernten, wo möglich auf demſelben magnetiſchen Meridian liegenden Orten, befindlichen Beobachtern geſehen wurde. Dergleichen Beſtimmungen führten nun zu ſehr verſchiedenen Reſultaten, was ſehr begreiflich iſt, wenn man bedenkt, daß es ſehr zweifelhaft iſt, ob die verſchiedenen Beobachter eines und deſſelben Nordlichtbogens bei ihren Meſſungen wirklich denſelben Punkt einviſirt und gleichzeitig gemeſſen haben. Daher kommt es auch, daß ſich ſogar für ein und daſſelbe an ſehr vielen Orten beobachtete Nordlicht ſehr verſchiedene Höhen ergeben, je nachdem man dieſe oder jene Beobachtungen mit einander combinirt.

So findet z. B. Hanſteen für das Nordlicht vom 7. Januar 1831 die Höhe von 26 geographiſchen Meilen, indem er die Meſſungen der ſcheinbaren Höhe des Bogens von Berlin und Chriſtianſand in Norwegen combinirt, während Chriſtie aus verſchiedenen in England angeſtellten Beobachtungen deſſelben Nordlichtes eine Höhe von 5 bis 25 engliſchen Meilen berechnet.

Die Beſtimmungen neuerer Phyſiker weiſen den Nordlichtern eine weit geringere Höhe an, als man früher annahm. Nach Mairan ſollte die mittlere Höhe der Nordlichter 120, nach Cavendiſh (1790) ſoll ſie 60, und nach Dalton (1828) nur 18 geographiſche Meilen betragen.

Farquharſon endlich macht es wahrſcheinlich, daß die Nordlichter, wie dies auch ſchon früher z. B. von Wrangel ausgeſprochen worden iſt, bis in die Region der Wolken heruntergehen; er ſtützt ſich dabei unter Anderem auf eine Nordlichtsbeobachtung vom 20. December 1829. Er ſah nämlich von $8^1/_2$ bis 11 Uhr Nachts zu Alford in Aberdeenſhire ein ſehr glänzendes Nordlicht über einer dichten Wolkenmaſſe, welche die Spitzen der nördlich von ſeiner Wohnung liegenden Correnhügel bedeckte. Obgleich der übrige Theil des Himmels heiter war, ſo ſtieg das Nordlicht doch nie höher als 20°. Gleichzeitig ſah der Prediger Paull zu Tullyneßle, welches zwei engliſche Meilen nördlich von Alford in einem engen Seitenthale der erwähnten Hügelreihe liegt, um $9^1/_4$ Uhr Abends das Nordlicht ſehr hell in der Nähe des Zeniths. Demnach würde die Höhe dieſes Nordlichts höchſtens 4000 Fuß betragen haben.

Dieſe Anſicht wird nun auch durch vielfache in neuerer Zeit in den Polargegenden gemachte Beobachtungen unterſtützt, und namentlich auch von Parry, Franklin, Hood und Richardſon vertreten. Franklin beobachtete Nordlichter, welche zwiſchen einer Wolkenſchicht und der Erde befindlich waren und welche die untere Fläche dichter Wolken erleuchteten.

So viel iſt gewiß, daß ſich das Phänomen des Nordlichtes in ſehr verſchiedenen Höhen bildet, daß ſie aber ſchwerlich je über eine Höhe von 20 Meilen hinausgehen.

Die in geringen Höhen sich bildenden Nordlichter, wie sie in den Polarregionen öfters vorkommen, sind auch nur in geringen Entfernungen sichtbar. So führt Hood ein Nordlicht an, welches er am 2. April 1820 in Cumberland-House (im britischen Nordamerika, auf den Isothermenkarten verzeichnet) als einen glänzenden Bogen in 10° Höhe beobachtete, und von welchem man 55 englische Meilen südwestlich nichts wahrnahm; und ein anderes Nordlicht, welches am 6. April mehrere Stunden im Zenith von Cumberland-House stand, erschien 100 englische Meilen südwestlich nur noch als ein ruhiger ungefähr 9° hoher Bogen.

Ein Umstand, welcher gleichfalls dafür sprechen dürfte, daß sich die Nordlichter häufig wenigstens in sehr geringen Höhen bilden, ist das Geräusch, welches manchmal ihre Erscheinung begleiten soll. Dieses Geräusch wird von Einigen mit demjenigen verglichen, welches entsteht, wenn ein Stück Seidenzeug über einander gerollt wird, von Anderen, wie Parrot, mit dem Geräusch der stark vom Winde getriebenen Flamme einer Feuersbrunst. In Sibirien soll, wie Gmelin erzählt wurde, das Nordlicht oft mit so heftigem Zischen, Platzen und Rollen verbunden sein, daß man ein Feuerwerk zu hören glaubt, und daß sich die Hunde der Jäger, von solchen Nordlichtern überfallen, vor Angst auf den Boden legten.

Von anderer Seite wird aber die Existenz eines solchen Geräusches vielfach bezweifelt. Mehrere Beobachter, welche häufig in Schweden und Norwegen Gelegenheit hatten, das Phänomen des Nordlichts zu beobachten, versichern, nie das geringste Geräusch gehört zu haben. So sagt Wrangel von seinem Aufenthalt an den Küsten des sibirischen Eismeers: Wir hörten beim Erscheinen der Säulen kein Krachen, überhaupt kein Geräusch. Nur wenn ein Nordlicht eine große Intensität hatte, wenn die Strahlen sich oft nach einander bildeten, däuchte es uns, als hörte man Etwas, wie ein schwaches Blasen des Windes in die Flamme. Parry, welcher bei seinem mehrmaligen Aufenthalte in den Polargegenden sehr oft die Erscheinung des Nordlichtes beobachtete, und Franklin, welcher am Bärensee deren 343 sah, versichern, nie ein Geräusch gehört zu haben, und sind der Meinung, daß das, was man für ein Geräusch des Nordlichtes hielt, wohl nichts als das Rauschen des Windes selbst oder das Krachen des in den hellen kalten Nordlichtnächten berstenden Eises gewesen sei.

Bei uns werden nur solche Nordlichter sichtbar, welche sich zu größerer Höhe erheben.

Während die Sichtbarkeit der meisten in den Polargegenden sich bildenden Nordlichter nur auf einen geringen Umkreis beschränkt bleibt, gewinnt manchmal das Phänomen des Nordlichtes eine überraschende Ausdehnung. So war z. B. das schöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 im ganzen nördlichen und mittleren Europa, sowie auch am Eriesee in Nordamerika sichtbar. In solchen Fällen ist es klar, daß man an weit entfernten Orten nicht dieselben leuchtenden Strahlen sah, daß man also in dem eben angeführten Falle am Eriesee eine andere Partie des Phänomens wahrnahm als in Europa. Wahrscheinlich hatte sich damals ein ungeheurer Strahlenkamm gebildet, welcher, ungefähr der Rich-

tung eines magnetischen Parallels folgend, mit oder ohne Unterbrechung vom Eriesee über den atlantischen Ocean bis nach Norwegen und Schweden hinzog.

In den südlichen Polarregionen bildet sich ein ähnliches Lichtphänomen wie das, welches wir bisher besprochen haben, und welches man mit dem Namen des Südlichtes bezeichnet hat. Solche Südlichter sind von verschiedenen Seefahrern und namentlich von Cook gesehen und beschrieben worden.

Man hat die Nord- und die Südlichter mit dem gemeinsamen Namen der Polarlichter bezeichnet.

Eine sehr merkwürdige Thatsache ist es, daß sehr oft Nord- und Südlichter zu gleicher Zeit erscheinen. So wurden z. B. im Jahre 1783 zu Rio Janeiro Südlichter gesehen, während gleichzeitig auf der nördlichen Hemisphäre Nordlichter beobachtet wurden. Dasselbe gilt für viele der Südlichter, von welchen Cook berichtet. Er sah Südlichter am 18., 21. und 25. Februar und am 16. März 1773, während van Swinden von Nordlichtern berichtet, welche er an denselben Tagen zu Franecker in Friesland gesehen hat.

Fig. 302.

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

	Seite
Abendroth	276
Abendstern	143
Aberration des Lichtes	263
Abplattung der Erde	56
— des Jupiter	150
Absidenlinie	92
Absorption des Lichtes durch die Atmosphäre	272
Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre	364
Abweichung, astronomische	29
— magnetische	504
Actinometer	368
Aegyptisches Planetensystem	123
Aequator der Himmelskugel	7
— der Erde	51
— magnetischer	522
Aequatorialinstrument	38
— transportables	40
Aequatorialkreis	38
Aequinoctium	95
Aequinoctialpunkte	70
— Rückgang derselben	88
Aequinoctialcolur	71
Aërolithen	156
Alhidade	24
Allgemeine Schwere	206
Aphelium	103
Apogäum	92
Aspirator	432
Atmosphäre der Sonne	110
— des Mondes	183
— der Erde	394
Atmosphäre, Zusammensetzung derselben	394
— Höhe derselben	398
Atmosphärische Refraction	266
Atmosphärische Elektricität	471
Aufsteigung, gerade	31
Aufsteigende Knoten	119
Aurora borealis	547
Axendrehung der Erde	58
— der Sonne	108
— des Mondes	177
— des Jupiter	150
Azimut	19

B.

	Seite
Barometrische Höhenmessung	395
Barometerschwankungen	398
— jährliche	404
— tägliche	398
— unregelmäßige	408
Bewegung, tägliche, der Gestirne	7
— scheinbare, der Planeten	117
Blau des Himmels	274
Blendglas	107
Blitz	483
— Wirkungen desselben	484
Blitzableiter, Construction derselben	474
— Prüfung derselben	477
— für Telegraphen	480
Blitzröhren	486
Blitzschläge, merkwürdige	484
Breite, astronomische	71
— geographische	52
— — Bestimmung derselben	53
Breitenkreise auf der Erdkugel	52

C.

Seite

Calmen 418
Centralsonne 246
Ceres 153
Chamsin 424
Circumpolarsterne 8
Cirrus 453
Colnren 71
Conjunction 117
Constante, magnetische 515
Continentalklima 333
Copernikanisches Weltsystem . . . 127
Culmination 8
Cumulus 454
Cyanometer 274

D.

Dämmerung 281
Dämmerungsbogen 282
Daniell's Hygrometer 436
Declination, astronomische . . . 29
— magnetische 504
Declinationskarten . . . 519, 528
Declinationskreis an der Himmelskugel 29
— am Aequatorial-Instrument . 38
Deferent 126
Depression des Horizonts 46
Dichtigkeit, mittlere, der Erde . . 217
— des Mondes 162
— der Sonne, verglichen mit der Erde 210
— — verglichen mit Wasser . . 218
— der Planeten, verglichen mit der Erde 210
— — verglichen mit Wasser . . 218
Diaphanometer 270
Doppelsterne 242
Donner 484
Drache, elektrischer 472
Drehwage, Anwendung derselben zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde 213
Durchgänge des Mercur 142
— der Venus 144
Durchmesser der Erde 58
— scheinbarer der Sonne 92
— — der Planeten 123
— — des Mondes 162
— wahrer, der Sonne 106
— — des Mondes 166

Seite

Durchmesser, wahrer, des Jupiter 149
— — des Saturn 150
— — des Uranus 153
— — des Mercur 143
— — der Venus 148
— — des Mars 148
Durchsichtigkeit der Luft 270

E.

Ebbe 225
Eisbildung durch nächtliche Strahlung 369
Eisberge, schwimmende 393
Ekliptik 68
Elektricität, atmosphärische . . . 471
— der Gewitterwolken 481
Elliptische Bahnen der Planeten . 140
Elongation 117
Entfernung der Sonne von der Erde 106
— des Mondes von der Erde . . 166
— mittlere, der Planeten von der Sonne 137
— der Fixsterne 242
Epicyklen 126
Epoche 136
Erde, Kugelgestalt derselben . . . 44
— Abplattung derselben 56
— Axendrehung derselben . . . 58
— Dimensionen derselben 58
— Atmosphäre derselben 394
— Masse derselben 217
— Dichtigkeit derselben 217
Erdäquator 52
Erdbahn, wahre Gestalt derselben 101
— Excentricität derselben . . . 101
Erdbeben 377
Erdferne 92
Erdmagnetismus 503
Erdnähe 92
Erdschein 160
Erdwärme, innere 373
Erleuchtungskreis 45
Eruptionen, vulkanische 376
— des Geysirs 382
— des Strokkrs 383
Excentricität der Erdbahn 103
— der Marsbahn 148
— der Mondbahn 162
— der Planetenbahnen 142

F.

Seite

Fadenkreuz 24
Farbe des Himmels 274
Fata morgana 289
Federwolken 453
Fernrohr, parallaktisch aufgestelltes 10, 42
Feuerkugeln 156
Feuchtigkeit der Luft 445
Finsternisse des Mondes 167
— der Sonne 173
Firn 361
Fixsterne 6
— eigene Bewegung derselben . . 238
— jährliche Parallaxe derselben 238, 242
— Entfernung derselben 239
— farbige 253
— photometrische Vergleichung derselben 249
— veränderliche 251
Fluth 225
Fluthwellen 228
Föhn 424
Foucault's Pendel 62
Frühling 306
Frühlingspunkt 70
— Bestimmung desselben 86
Frühlingsäquinoctium 70
Funkeln der Sterne 269

G.

Gebirge des Mondes 181
Geräusch des Nordlichts 559
Geschwindigkeit der Planeten in ihrer Bahn 139
— des Lichtes 260
Gesichtskreis 44
Gewitter 481
— magnetisches 555
Gewitterwolken, Charakter derselben 482
— Elektricität derselben 481
— Höhe derselben 482
Geysir 382
— Eruptionen desselben 383
— Nachahmung derselben 387
Gletscher 356
Golfstrom 335
Gnomon 21
Gradmessungen 57
Graupeln 463
Grundeis 390
Gufferlinie 362

H.

Seite

Haarhygrometer 434
Hafenetablissement 226
Hafenzeit 226
Hagel 463
Halley's Komet 200
Harmattan 424
Haufenwolke 454
Heliometer, Pouillet's 364
Hemisphäre, nördliche und südliche 7
Herbstäquinoctium 70
Herbstpunkt 70
Himmel, Farbe desselben 274
Himmelsgewölbe 5
Himmelsglobus 7
Himmelsäquator 7
Hochebenen, Temperaturverhältnisse derselben 351
Höfe 295
Höhe, eines Gestirnes 19
Höhenkreis 19
Höhenmessung, barometrische . . 395
Horizont 5
— wahrer 52
— scheinbarer 52
Horizontallinie 44
Horizontalparallaxe 104
Hurricans 425
Hyaden 16
Hydrometeore 433
Hygrometer, Saussure's 434
— Daniell's 436
— Döbereiner's 439
— Regnault's 439

I.

Jahr 87
— bürgerliches 87
— tropisches 87
Jahresmittel, allgemeines 314
Jahreszeiten 305
Jahresisothermen 317
Inclination, magnetische 509
Intensität, magnetische 512
Isanomalen, thermische 330
Isobarometrische Linien 409
Isochimenen 324
Isodynamische Linien 518
Isogonische Linien 518
Isoklinische Linien 518
Isorachien 228

Seite

Isotheren 324
Isothermen 317
Juno 154
Jupiter 149
— Axendrehung desselben 150

K.

Kalender 87
Kepler'sche Gesetze 140
Kern der Kometen 189
Klima 301
— Abhängigkeit desselben von der geographischen Breite . . . 304
Knoten der Planetenbahnen . . . 119
— der Mondesbahn 162
Knotenlinie 133
Kometen 189
— Kern derselben 189
— Schweif derselben 189
— wiederkehrende 200
Kometenbahnen, scheinbare . . . 192
— wahre 197
Krater 375

L.

Landklima 331
Länge, astronomische 71
— des aufsteigenden Knotens . . 119
— des Perihels der Planetenbahnen 141
— geographische 52
— — Bestimmung derselben . . 54
Längenkreise auf der Erde 52
Leitstrahl 102
Libration des Mondes 178
Licht, Geschwindigkeit desselben . . 260
— Aberration desselben 268
Litli Geyir 383
Limbus 24
Luft 394
— Bestandtheile derselben . . . 394
— Durchsichtigkeit derselben . . . 270
Luftelektricität 503
Lufthülle der Erde 394
Luftperspective 270
Luftspiegelung 284

M.

Magnetische Abweichung 504
— Constanten 515
— Declination 504
Magnetische Gewitter 555
— Inclination 509
— Intensität 512
— Karten 527
— Meridiane 521
— Störungen 538
— Variationen 535
Magnetischer Aequator 522
Magnetisches Potential 531
— Theodolit 505
Mars 148
Masse der Erde 217
— der Planeten 210
— der Sonne 210
Mercur 142
Meridian 7
— magnetischer 521
Meridiankreis 34
Meridianzeichen 26
Meteorsteine 156
Meter 58
Meteorologie 301
Milchstraße 255
Mittagskreis 34
Mittagslinie 7
Mittagsrohr 34
Monatsisothermen 323
Monatsmittel 314
Mond 158
— Axendrehung desselben 177
— Entfernung desselben 166
— Gebirge desselben 181
— Größe desselben 162
— Libration desselben 178
— Oberfläche desselben 181
— Parallaxe desselben 165
— Phasen desselben 159
— siderische Umlaufszeit desselben 158
— synodische Umlaufszeit desselben 159
Mondsbahn, Neigung derselben . 162
— Excentricität derselben 162
— Knoten derselben 162
Mondfinsternisse 168
Monsune 418
Moränen 361
Morgenroth 276
Morgenstern 143
Moussons 418

N.

Nachtbogen 9
Nadir 6

Seite

Nebel 451
— planetarische 257
Nebelflecken 255
Nebelsterne 258
Nebensonnen 296
Neigung der Mondsbahn 162
— der Planetenbahnen 136
Neptun 156
— Entdeckung desselben 221
Neumond 159
Nimbus 455
Nordlicht 547
Nordlichtkrone 548
Nordpol der Erde 51
— des Himmels 7
Nordpunkt 7
Nördliche Hemisphäre 7
Normalstationen 315
Nutation 91

O.

Obere Conjunction 119
— Planeten 117
Occultationen 165
Ombrometer 455
Opposition 119
Orkane 425
Osten 7
Ostpunkt 7

P.

Pallas 154
Parallaxe 104
— der Fixsterne 238, 242
— des Mondes 165
— der Sonne 106
Parallaktische Aufstellung . . . 10, 42
Parallaktisches Stativ 42
Parallelkreise 29
— der Erde 51
Passage-Instrument 34
Passatwinde 410
Pendel, Beweis der Abplattung der Erde durch dasselbe 60
— Länge des Secundenpendels in verschiedenen Breiten 61
Pendelversuch, Foucault's 62
Penumbra 108
Perigäum 92
Perihel 103
Perihel der Planetenbahnen . . . 140
Phasen des Mercur 143
Phasen der Venus 144
— des Mondes 159
Photometrische Vergleichung der Fixsterne 250
Photosphäre 109
Planeten 116
— Epoche derselben 136
— mittlere Entfernung derselben von der Sonne 136
— obere 117
— siderische Umlaufszeit derselben 136
— untere 117
— Winkelgeschwindigkeit derselben 139
— Zeichen derselben 116
Planetarische Nebel 257
Planetenbahnen, Elemente derselben 136
— Excentricität derselben 142
— Neigung derselben 136
Planetensysteme 123
Planetoiden 153
Plateau's, Temperaturverhältnisse derselben 351
Plejaden 16, 259
Polarisation des Himmels 279
Polarisky 252
Polarkreise 95
Polarlicht 560
Polarstern 16
Polaruhr 280
Poldistanz 29
Pole der Ekliptik 71
— der Erde 51
— des Himmels 7
— magnetische 527
Polhöhe 7
Präcession 91
— Erklärung derselben 229
Protuberanzen 111
Psychrometer 440
Ptolemäisches System 123

Q.

Quadratur 117
Quellentemperatur 380

R.

Radius vector 102
Rechtläufig 116
Rectascension 31
Refraction, atmosphärische . . . 266
Regen 455

Seite

Regenbogen 289
Regenmenge 455
Regenmesser 455
Regentage 459
Regenwolken 455
Reif 451
Reisetheodolit, magnetisches . . . 505
Revolution, siderische 119
— synodische 121
Rillen 181
Ring des Saturn 150
Ringgebirge des Mondes 181
Rückgang der Aequinoctialpunkte . 88
Rückläufig 116
Rückschlag 485

S.

Samum 424
Satelliten 158
Saturn 150
Sanssure's Hygrometer 431
Schaltjahr 87
Schalttag 87
Scintillation 269
Schichtwolken 454
Schiefe der Ekliptik 71
Schnee 461
— Farbe desselben 463
Schneefelder 352
Schneegränze 352
Schneekryställchen 462
Schwankungen, barometrische . . 399
Schweif der Kometen 189
— scheinbare Länge desselben . . 192
— wahre Länge desselben 198
Schwere, allgemeine 206
— auf der Oberfläche verschiedener Himmelskörper 219
Seculäre magnetische Variationen 535
Secundenpendel 61
Seeklima 333
Sextant 83
Siderische Umlaufszeit der Planeten 121
— des Mondes 158
Sirocco 424
Solano 424
Solstitialcolur 7
Solstitialpunkte 71
Solstitium 71
Sonne, Dimensionen derselben . . 106
— Dichtigkeit derselben 218

Seite

Sonne, Entfernung derselben . . 106
Sonne, Masse derselben 210
— Ortsveränderung derselben am Himmelsgewölbe 68
Sonnenatmosphäre 110
Sonnenäquator 108
Sonnenfackeln 110
Sonnenfinsternisse 173
Sonnenflecken 107
Sonnenglas 107
Sonnenuhr 84
Sonnenwende 71
Sonnenzeit 10, 73
Springfluth 226
Springquellen 381
Stationär 117
Sternbedeckungen 164
Sternbezeichnung 14
Sternbilder 6, 12
Sterne, farbige 253
— Funkeln derselben 269
— photometrische Vergleichung derselben 249
— teleskopische 12
— temporäre 252
— veränderliche 251
Sternhaufen 258
Sternkarten 12
Sternnamen 14
Sternschnuppen 156
Sterntag 10
Sternzeit 10
Störungen 219
— der Kometen 222
— der Mondsbahn 223
— magnetische 538
Sternei 370
Stratus 454
Streifr 383
Stundenkreis 29
Stundenring 77
Stundenwinkel 30
Stürme 425
Sturmtheorie Dove's 428
Süden 7
Südliche Hemisphäre 7
— — der Erde 51
Südlicht 560
Südpunkt 7
Synod. Umlaufszeit der Planeten 119
— — des Mondes 159
Syzygien 144

T.

	Seite
Tagbogen	9
Tagesdauer	97
Tageshelle	273
Temperatur, mittlere	313
— der Luft	313
— des Bodens	370
— der Bohrlöcher	373
— der Quellen	380
— des Weltraums	369
— der Meere	390
— der Seen und Flüsse	388
Terminsbeobachtungen	539
Thau	450
Theodolit	22
— magnetisches	505
Thermen	381
Thermometrograph	315
Thierkreis	73
Tornados	425
Trabanten	158
— des Jupiter	183
— des Saturn	187
— des Uranus	188
Trockenheit der Luft	445
Tromben	429
Tychonisches Planetensystem	125

U.

Umlaufszeit, synodische	119
— siderische	121
— tropische	139
— synodische der Planeten	139
— siderische der Planeten	136
Ungleichheiten des Planetenlaufes	125
Untere Planeten	117
— Conjunction	119
Uranus	151

V.

Variationen, barometrische	299
— magnetische	535
Venus	143
— Atmosphäre derselben	149
Venus, Größe derselben	148
— Phasen derselben	144
Verfinsterung der Jupitersstrabanten	185
Vesta	154
Veränderlichkeit der Witterungsverhältnisse	337
Vollmond	160
Vulcane	375

W.

Wallebenen	182
Wassergehalt der Luft	432, 442
Wasserhosen	429
Weltare	7
Wendekreise	94
Wendestunden	402
Westen	7
Westpunkt	7
Wetterleuchten	483
Wettersäulen	429
Winde	414
— Entstehung derselben	414
— heiße	423
— in höheren Breiten	418
— regelmäßige	416
Winddrehung	420
Windrose, barometrische und thermometrische	422
Witterung	301
Wolken	451

Z.

Zeichen der Ekliptik	73
Zeit, astronomische	11
— bürgerliche	11
— mittlere und wahre	75
Zeitbestimmung	79
Zeitgleichung	75
Zenith	6
Zenithdistanz	21
Zodiakallicht	112
Zodiacus	73
Zonen der Erde	96
— klimatische	304

00568331

10 JAN 65

10 GEN 65

Digitized by Google

Im Verlage von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig ist erschienen:

Grundriss der Physik und Meteorologie.

Für

Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen, sowie zum Selbstunterrichte,

Von Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Siebente verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 554 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 1 Thlr. 25 Sgr.

Der Herr Verfasser spricht sich über die Stellung seines Buches u. A. in folgender Weise aus:

„Der „Grundriss der Physik und Meteorologie" trägt die Grundgesetze der Naturlehre in möglichst allgemein verständlicher Form und in einer dem jetzigen Standpunkte der Wissenschaft entsprechenden Weise vor. — Soll der naturwissenschaftliche Unterricht den vollen Nutzen gewähren, welchen man von ihm zu verlangen berechtigt ist, so reicht es nicht hin, dass der Schüler die einzelnen Thatsachen und Gesetze kennen lerne; er muss auch in den Geist der inductiven Wissenschaften, der physikalischen Methode, eingeführt werden. Deshalb war es nöthig, die wichtigsten Gesetze nicht allein aufzuzählen und verständlich zu machen, sondern auch ihre Verknüpfung mit den entsprechenden Erscheinungen, ihre Ableitung aus denselben gründlich nachzuweisen. Dadurch aber, dass mit Ausschluss von Specialitäten die Fundamentalerscheinungen und die aus ihnen entwickelten Gesetze in dem Buche mit genügender Ausführlichkeit abgehandelt werden, suchte ich diesen Grundriss nicht allein dem Bedürfniss der genannten Lehranstalten anzupassen, sondern es auch möglich zu machen, dass er jüngeren Pharmaceuten, Forstmännern, Landwirthen, Gewerbetreibenden u. s. w. als ein Buch für den ersten Unterricht genügen könne.

Ausser den Forderungen einer wissenschaftlichen Methode habe ich auch vorzugsweise die practischen Anwendungen physikalischer Kräfte berücksichtigt und namentlich den Dampfmaschinen, den elektrischen Telegraphen u. s. w. eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet."

Mathematischer Supplementband

zum

Grundriss der Physik und Meteorologie.

Von Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Mit 179 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 25 Sgr.

Nebst besonders gedruckten Auflösungen. Preis 10 Sgr.

Fast alle Gesetze, welche die Physik behandelt, sind von der Art, dass sie sich auf die Grössenverhältnisse der durch die Naturkräfte hervorgebrachten Wirkungen beziehen und damit ist denn auch die Wichtigkeit einer mathematischen Behandlung des physikalischen Unterrichts ausser Frage gestellt.

In meinem Grundriss der Physik und Meteorologie habe ich deshalb auch stets auf eine mathematische Anschauungsweise hingearbeitet und so weit es zulässig war, ohne weniger Geübten unverständlich zu werden, die präcisere Ausdrucksweise mathematischer Formeln nicht vermieden. Es ist jedoch in dieser Richtung für technische Lehranstalten, auf welchen eine weitergehende mathematische Bildung erzielt wird, in dem genannten Werke nicht ausreichend gesorgt, obgleich unser Grundriss in experimenteller Hinsicht für diese Anstalten hinlängliches Material bietet.

Um nun einerseits der wohlbegründeten Forderung nach einer mehr mathematischen Behandlungsweise für gewisse Lehranstalten Rechnung zu tragen, andererseits aber den Grundriss der Physik und Meteorologie seinem bisherigen Publikum nicht zu entfremden, habe ich mich entschlossen einen mathematischen Supplementband auszuarbeiten, in welchem an die entsprechenden Paragraphen des Grundrisses anlehnend die dort mangelnden mathematischen Entwickelungen nachgetragen und die mathematischen Consequenzen der vorgetragenen Gesetze weiter verfolgt werden.

Im Allgemeinen ist auch in diesem mathematischen Supplementbande nur Elementarmathematik, d. h. Arithmetik und Algebra, Elementargeometrie, ebene und sphärische Trigonometrie, sowie hie und da auch analytische Geometrie in Anwendung gebracht worden. Nur in einem Schaltkapitel, welches von den nicht genügend Vorbereiteten ohne alle Störung des Zusammenhanges überschlagen werden kann, habe ich die Grundlehren der Mechanik mit Anwendung höherer Rechnung entwickelt und zwar vorzugsweise um zu zeigen, wie einfach, leicht und elegant sich mit Hülfe der Analysis Dinge behandeln

lassen, welche mit Elementarmathematik, wenn es überhaupt gelingt ihnen auf diesem Wege beizukommen, doch nur äusserst mühsam und schwerfällig zu entwickeln sind.

In allen Theilen des mathematischen Supplementhandes habe ich nach möglichster Klarheit und Verständlichkeit gestrebt und ich hoffe manche sonst schwierige Parthie einem allgemeineren Verständniss näher gebracht zu haben. Dahin rechne ich namentlich auch die mechanische Ableitung der elliptischen Bewegung der Himmelskörper, so wie die Ausgleichung der Beobachtungsfehler unter Benutzung der Methode der kleinsten Quadrate.

Jedem Paragraphen ist eine entsprechende Anzahl von Aufgaben beigefügt, welche, da sie sich unmittelbar auf die vorgetragenen Lehren beziehen, ganz besonders geeignet sein dürften, dieselben zu erläutern und einzuüben.

Müller-Pouillet's

Lehrbuch der Physik und Meteorologie.

Zwei Bände von circa 100 Bogen gr. 8.

Mit 1460 in den Text eingedruckten Holzschnitten und dreizehn Stahlstich-Tafeln, zum Theil in Farbendruck.

Satinirtes Velinpapier. geh. Preis 7⅔ Thlr.

Fünfte umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Der Einfluss, ja die Macht, welche die Naturwissenschaften im Allgemeinen in unseren Tagen erlangt haben, die Unabweisbarkeit des Studiums der Physik im Besondern, stellt um so dringender das Bedürfniss heraus, dass diese Wissenschaft durch zweckmässige Lehrbücher einem grösseren Kreise möglichst zugängig gemacht werde; von diesem Standpunkte ging der Verfasser bei der Bearbeitung des Werkes aus, und es gelang ihm, die Lehren der Physik in wahrhaft würdiger Weise populär und allgemein verständlich zu machen, ohne den streng wissenschaftlichen Anforderungen etwas zu vergehen.

Die rasche und ehrende Anerkennung dieses Buches wird schon seine vollgültige Empfehlung begründen; es darf aber hinzugefügt werden, dass Müller's Lehrbuch der Physik auf den meisten deutschen Universitäten und höheren technischen Lehranstalten den Vorträgen zum Grunde gelegt oder den Zuhörern zum Nachstudium empfohlen wird, und dass es die lebhafteste Theilnahme und Anerkennung unter allen denen gefunden hat, welchen das Selbststudium der Physik als Hülfswissenschaft, unentbehrlich geworden ist. — Der Mediciner, der Chemiker, der Pharmacent, der Techniker, der Agronom, der Forst-, Berg- und Hüttenmann, der Architekt etc., kann der physikalischen Kenntnisse, jeder Gebildete kann ihrer nicht mehr entbehren.

Die äussere Ausstattung ist eine solche, welche die Bestrebungen des Verfassers unterstützt; 1460 vortrefflich ausgeführte in den Text eingedruckte Holzstiche, sowie 13 zum Theil in Farbendruck ausgeführte Stahlstich-Tafeln vermehren die Deutlichkeit und Verständlichkeit ungemein. — Der Preis ist für diese Ausstattung ein überaus billiger.

Unter der Presse befindet sich:

Die Lehre

vom

Galvanismus und Elektromagnetismus

nebst ihren technischen Anwendungen.

Von Gustav Wiedemann,

Professor der Physik an der Universität zu Basel.

Erster Band. **Galvanismus.**

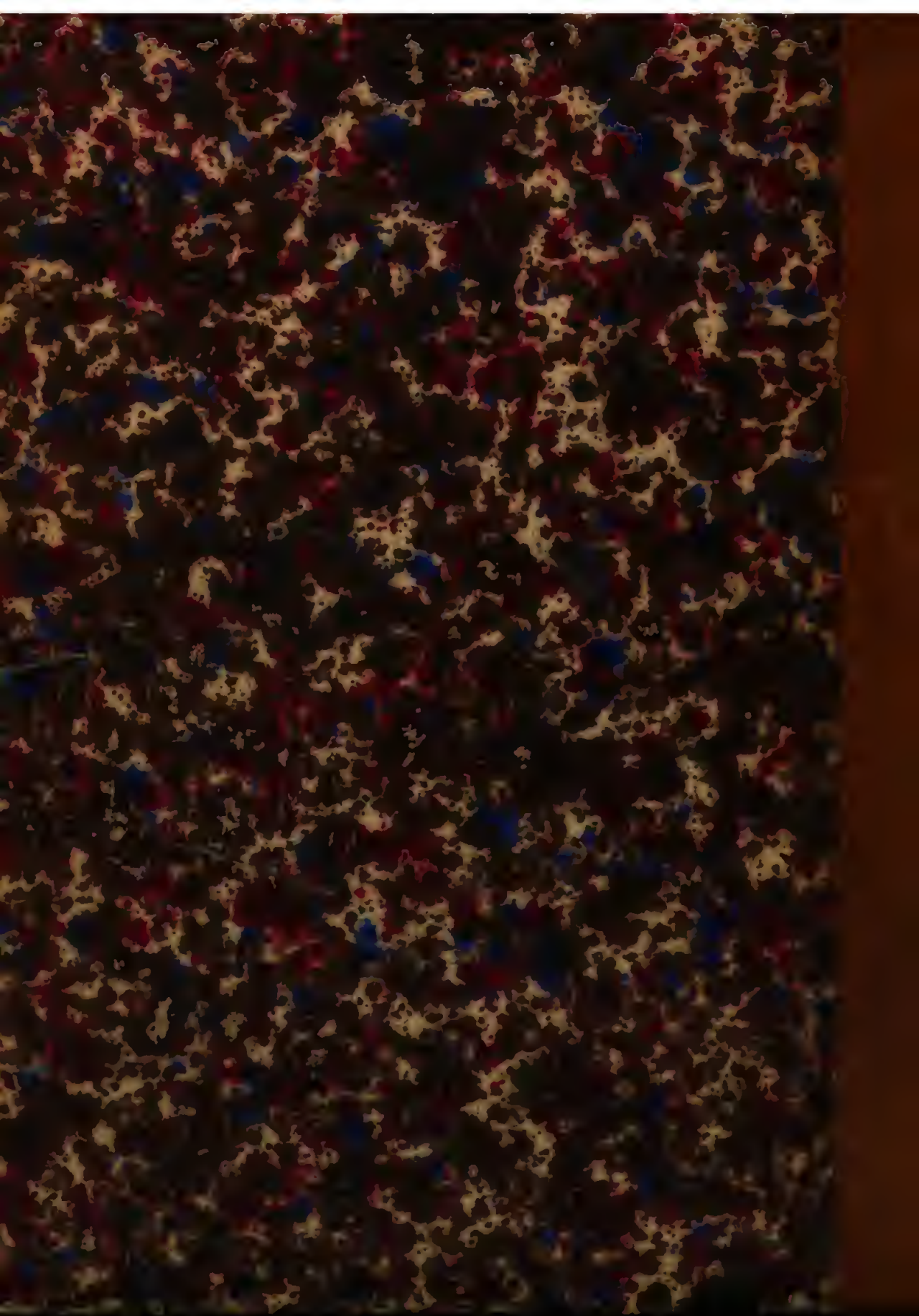
Mit 200 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

gr. 8. Fein Velinpapier.

Die Leistungen auf dem Gebiete der galvanischen Elektricität zu sichten und als geordnetes Ganzes darzustellen, ist der Zweck dieses Werkes.

Nach dem Plan, welcher von mir bei der Bearbeitung desselben befolgt wurde, habe ich zuerst mit möglichster Uebersichtlichkeit die in den verschiedenen Theilen der galvanischen Lehre angestellten Versuche kritisch besprochen, und bin dabei nur in sofern auf die Theorie eingegangen, als sie zur Erklärung der unmittelbar vorliegenden Thatsachen dient. Am Schlusse des Werkes soll dann die Zurückführung der Wirkungen des galvanischen Stromes auf gemeinsames Maass, so wie die von demselben gethane Arbeit behandelt werden. Hieran wird sich endlich die theoretische Besprechung der Frage über die Entstehung des Stromes durch verschiedene Ursachen anreihen.

Das Werk wird in drei Theilen erscheinen. Der erste Theil enthält den Galvanismus, der zweite Theil die Elektrodynamik, den Elektromagnetismus und das theoretische Schlusskapitel; der dritte Theil wird einen kurzen Ueberblick über die technischen Anwendungen der galvanischen Lehre geben.


Digitized by Google